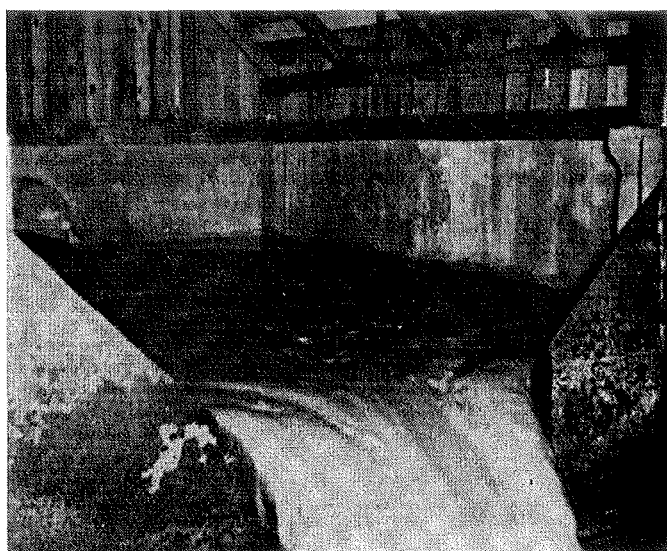




# Avrinningsmönster i ett litet åkerområde under 40 år av successiv urbanisering

Discharge patterns in a small agricultural basin during  
40 years of continuous urbanization

**Faruk Djodjic**



**Examensarbete**  
**Handledare: Per-Erik Jansson**

---

**Institutionen för markvetenskap**  
**Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Swedish University of Agricultural Sciences**  
**Department of Soil Sciences**  
**Division of Agricultural Hydrotechnics**

---

**Avdelningsmeddelande 97:2**  
**Communications**

**Uppsala 1997**

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--97/2--SE

---



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|  |    |
|--|----|
| ABSTRACT   | 5  |
| REFERAT  | 5  |
| BAKGRUND OCH SYFTE   | 7  |
| MATERIAL OCH METODER   | 8  |
| Litteraturöversikt   | 8  |
| Beskrivning av området   | 9  |
| Digitaliseringsmetod   | 13 |
| Beräkning av avrinningen                                       | 13 |
| Den hårda ytan   | 14 |
| Rationell metod  | 15 |
| Beräkning av hårdytan  | 15 |
| Beräkning av avrinningen                                       | 15 |
| Recessionskoefficienter  | 16 |
| Varaktighet av flödesintensiteter                              | 16 |
| SOIL-modellen  | 16 |
| RESULTAT   | 17 |
| Jämförelse med tidigare manuell utvärdering                    | 17 |
| Den hårda ytan   | 18 |
| Rationell metod  | 18 |
| Beräkning av hårdytan  | 18 |
| Beräkning av avrinningen                                       | 19 |
| Recessionskoefficienter  | 21 |
| Varaktighet av flödesintensiteter                              | 23 |
| Simuleringar med SOIL-modellen                                 | 24 |
| SLUTSATSER   | 29 |
| TACKORD  | 30 |
| LITTERATUR   | 31 |
| BILAGA 1 Parametervärden för SOIL simuleringar                 | 33 |
| BILAGA 2 Uppmätt avrinning under 1952-1959, 1979 och 1986      | 36 |
| BILAGA 3 Ackumulerad avrinning under 1957, 1959, 1979 och 1986 | 37 |



## ABSTRACT

### DISCHARGE PATTERNS IN A SMALL AGRICULTURAL BASIN DURING 40 YEARS OF CONTINUOUS URBANIZATION

*Faruk Djodjic, Department of Soil sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.*

A long-term series (1952-1990) of water discharge at Ultuna was studied to evaluate impacts of changed landuse on water discharge. During this period substantial changes with increased urbanisation and new agricultural management occurred. Urbanisation led to establishment of new conditions for water flow paths. Besides measurements, the SOIL model has been used as well as other methods to estimate water discharge. A comparison between an earlier period and a period after urbanisation showed that an increased discharge can be expected as a consequence of increased area under hard surfaces. The area with hard surfaces has been estimated to 3-5 % in period 1952-1959 and 20-25 % in latter period. Calculations with these values for hard surfaces resulted in increased discharge compared to simulations without hard surfaces with 6-11 and 25-27 % respectively, depending on the distribution of precipitation. However, it is more the pattern of water discharge that make a difference between periods than the amount of water. The most obvious difference occurred during summer months. On one hand, precipitation over areas with hard surfaces cause almost immediate response in form of surface runoff. On the other hand, the discharge from arable land is either missing because of soil water deficit or delayed in case that the soil is near saturation. Differences in peak-flows occurrence and behaviour were traced as well. Even the low precipitation during periods with increased hard surfaces caused high peak-flows but the duration were shorter. Discharge from small watersheds is more sensitive to changes caused by an increased area of hard surface. Urbanisation is not the only way to decrease water infiltration and increase surface runoff. Modern agriculture involve the usage of heavy machinery which can decrease conductivity due to packing. However, no obvious changes were found in the present data that could be explained by changed soil properties.

## REFERAT

### AVRINNINGSMÖNSTER I ETT LITET ÅKEROMRÅDE UNDER 40 ÅR AV SUCCESSIV URBANISERING

En lång mätserie (1952-1990) av vattenståndet studerades för att uppskatta inverkan av förändrad markanvändning på avrinningen. Under denna tid pågick en mer eller mindre kontinuerlig urbanisering vilket ledde till upprättande av nya förutsättningar för vattenflöden. Flera metoder användes för att uppskatta avrinningen, bland andra den rationella metoden och simuleringar med SOIL-modellen. En jämförelse mellan 1950-talet och en period efter urbaniseringen visade att ökningen av hårdgjord yta medför en ökad avrinning. Andelen hårdyta uppskattades till 3-5% under 1950-talet och 20-25% under den senare perioden. Enligt beräkningar med dessa värden ökade avrinningen med 6-11% och 25-27% för respektive period jämfört med simuleringar utan hårdytan. Variationer uppstod p g a nederbördsfördelning. Avrinningsförloppet blev mer påverkad än mängd avrunnet vatten. De största skillnaderna inträffade under sommarmånaderna. Nederbörd över hårdytan orsakade nästan omedelbart gensvar i form av ytavrinning medan avrinning från åkermark var antingen försenad eller saknades p g a lagring i markprofilen. En ökad frekvens av toppflöden registrerades, speciellt under sommaren. Små avrinningsområden är känsliga mot förändringar i ytförhållanden medan stora avrinningsområden reagerar med större tröghet. Packning kan orsaka liknande effekter men inga förändringar i avrinningen kunde förklaras med förändringar i de fysikaliska markegenskaperna.



## BAKGRUND OCH SYFTE

Långa mätserier är av stort värde inom vetenskapligt arbete, men tyvärr sällsynta. Mätserier påbörjas oftast med ett bestämt mål och avbryts sedan när detta mål anses uppnått. Det är betydligt svårare att få till stånd långsiktiga mätningar som kan "överleva" flera generationer av användare. Ett sådant fall av långsiktig mätning har företagits vid en avrinningsmätstation vid Ultuna, ca 5 km söder om Uppsala. Från 1952 till 1990 registrerades vattenståndet fortlöpande vid denna station. År 1996 återupptogs mätningarna igen, nu med mer modern teknik. De gamla mätningar utfördes med en självregistrerande pegel av SMHI:s konstruktion. Det ursprungliga målet var att erhålla faktaunderlag för dimensionering av rörledningar vid igenläggning av öppna avloppsdiken (Hallgren & Olséni, 1960). Erhållna pegeldiagram är delvis svårtolkade, varför en vis bearbetning måste föregå digitaliseringsarbetet. Under sommaren 1996 gjordes en insats för att läsa in diagrammen för att därigenom möjliggöra behandling av mätvärdena med datorteknik. Detta arbetet visade sig emellertid vara mer tidskrävande än väntat, varför endast vissa års diagram kom att digitaliseras. Följande års data överfördes till digitala filer: 1953-1959, 1974, 1979 och 1986.

Långa mätserier ger oss möjligheter att utföra undersökningar med olika syften, som t. ex. studier av hur klimat- och miljövariationer inverkar på en viss företeelse eller för att få underlag för modellutveckling och processtudier. En annan möjlighet är att utnyttja dem som underlag för forskning kring effekter av människans verksamhet.

Ett problem med långvariga avrinningsområdestudier är att de är kostsamma. Stora arbetsinsatser och resurser krävs för att hålla i gång mätningarna. I här aktuellt fall var dessutom det insamlade materialet svårhanterligt och ett fortsatt arbete var nödvändig för att man skulle kunna göra en bedömning av resultatet. I utbyte mot nedlagda insatser fick man uppgifter om vissa hydrologiska element som kan bilda underlag för olika speciella studier eller vattenbalansberäkningar. En annan möjlighet är att utföra jämförande studier med andra liknande mätserier, uppskatta skillnader och likheter och möjliggöra extrapolering av data från områden med mätningar till andra områden.

Flera frågor dyker upp i samband med arbetet med en långvarig serie. Var alla mätningar nödvändiga? Är nyttan av dessa jämförbar med det arbete och de resurser som lagts ned under så lång tid? Förekommer det några signifikanta förändringar med tiden? Om svaret är ja, varför? Kan vi utnyttja redan gjorda mätningar för att uppskatta kommande händelser och förändringar? Ska vi fortsätta med mätningarna? Detta arbete vill bidra till att ge svar på åtminstone några av ovannämnda frågor.

Huvudfrågan är kopplad till förändringar i avrinningsmönstret som en följd av ändringar i avrinningsområdets ytförhållanden. "Ytförhållandet" representeras av den hårdgjorda ytans andel av den totala ytan. Under årens gång urbaniserades området, nya byggnader och vägar byggdes och förutsättningar för vattenutbyte i systemet mark - växt - atmosfär förändrades. Är förändringar i avrinningen tillräckligt stora för att kvantitativt kunna påvisas? Vilka slutsatser kan man dra av detta? Gäller det i så fall bara för små avrinningsområden? Förändringarna kommer att öka ytterligare i takt med intensifierad urbanisering. Åkermarken blir samtidigt alltmer kompakt och packad p g a användning av större och tyngre maskiner.

Flera olika metoder användes för att identifiera och förklara eventuella skillnader i avrinningen mellan perioder före och efter urbanisering. Den s.k. rationella metoden utgör en

möjlighet för att få en grov uppskattning av storleken på avrinningen (Shaw, 1988). Markytans beskaffenhet och egenskaper samt nederbörds mängden är de faktorer som bestämmer mängden avrunnet vatten enligt den rationella metoden.

Avklingningen (recessionen) av toppflöden är också beroende av ytans beskaffenhet. En analys av recessionskurvor kan leda till svaret på frågan om det finns signifikanta skillnader mellan perioder.

Ökad frekvens av toppflöden kan tyda på förändringar i områdets beskaffenhet. Ökning av hårdgjorda yta medför snabbare avrinning med högre avrinningstoppa. Det är därför intressant att studera om det finns en skillnad i höglödens frekvens mellan 1950-talet och perioden efter en ökad urbanisering.

Slutligen kalibrerades en modell, SOIL, som beräknar avrinningen med hjälp av markegenskaper och klimat för det berörda området. Simuleringsresultat användes för beräkningen av avrinningen för en viss andel hårdyta. Erhållna resultat jämfördes med mätningar.

De problem urbaniseringen medför har även en miljömässig sida. Föroreningar och eutrofiering av vattendrag är viktiga miljöfrågor. Ökad andel av hårdgjord yta påverkar vattnets väg till vattendrag och därmed också transporten av vattenlösta ämnen. Enligt Hogland och Berndtsson (1983) kan man dela upp effekter av föroreningar i samband med urbana ytor i två grupper: lång- (eutrofiering) och kortsiktiga (föroreningar) effekter. Speciellt höga koncentrationer av föroreningar förekommer i inledningsfasen till avrinningstoppa.

## MATERIAL OCH METODER

### Litteraturoversikt

Forskningen omkring avrinningen från små avrinningsområden har en ganska lång historia. Enligt Hallgren och Olséni (1960) var Ramser den första som började med mätningar av detta slag i slutet på 1910-talet. Han studerade 6 små avrinningsområden i Tennessee (storlek 0,5 till 45 ha) för att se kopplingen mellan avrinningen och nederbörden. Under 1930-talet studerade Duley och Kelly infiltration med hjälp av konstgjort regn (Hallgren & Olséni, 1960). Azar och Cardwell utförde vid samma tid avrinningsmätningar i Virginia och konstruerade frekvensdiagram över regn av en viss mängd och intensitet samt därav förorsakade höglöden. Sådana undersökningar har också utförts i Australien, Kanada och Tyskland (Hallgren & Olséni, 1960). I Norden utfördes avrinningsmätningar huvudsakligen på större avrinningsområden. Efter 1952 byggdes i Norge några mätstationer för avrinningsmätning från små avrinningsområden (Hallgren & Olséni, 1960). Även i Sverige utfördes mätningar av avrinningen från små avrinningsområden i begränsad omfattning. Så sent som på 1950-talet började man med mätningar i större omfattning för att få begrepp om vilken grovlek rörledningarna skulle ha vid igenläggning av öppna diken. Perioden från 1965 till 1974 benämndes i hela världen som Internationella Hydrologiska Dekaden (IHD) och då växte det fram ett globalt nät med mätstationer avsedda för studier av avrinningen från små avrinningsområden (Falkenmark, 1984). Med hjälp av dessa 3000 s.k. representativa områden över hela världen möjliggjordes en global hydrologisk regionalisering. Förutom representativa



avrinningsområden studerades också s.k. experimentella områden för att man skulle få kunskap om effekterna av människans aktivitet.

I Norden studerades under dessa tio år femton avrinningsområden, varav sex i Sverige. Denna forskning har lett till bättre kunskap om olika hydrologiska processer och om samspelet mellan dem.

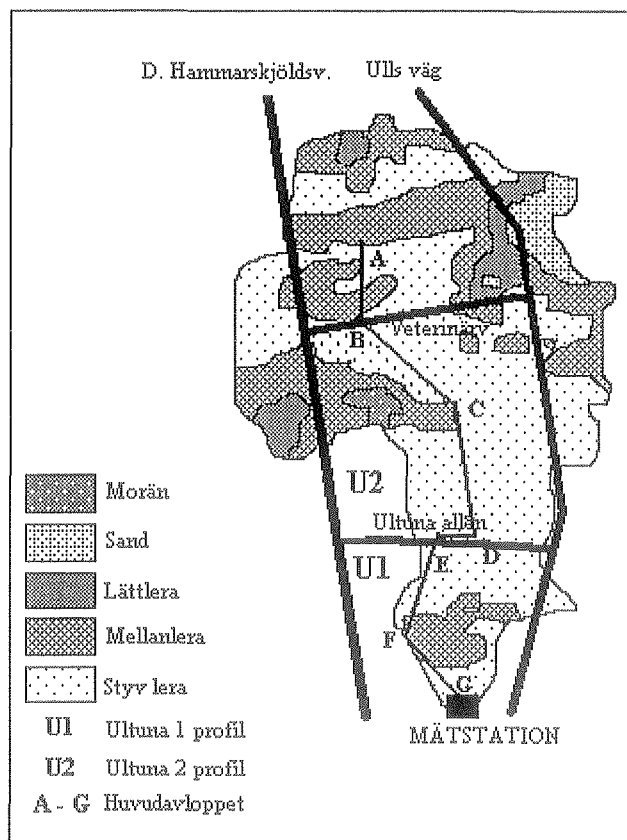
I slutet av 1960-talet påbörjades undersökningar i urbaniserade avrinningsområden i Sverige (Falk, 1984). Syftet med några av dem (t. ex. Värpinge, Bensbyn, Klostergården osv.) var att få bättre kunskap om förhållandet mellan den hårdgjorda ytan och avrinningen. Målsättningen uppfyllades bara delvis på grund av svårigheter i mätningarna och förändringar i de ursprungliga urbaniseringsplanerna. Intensivare forskning kring avrinningen från urbana ytor i Sverige började under 1970-talet. Samtidigt försökte man skapa en matematisk modell för urban avrinning (Lindh, 1976). Falk och Niemczynowicz (1976) har testat tre olika modeller och konstaterat att en modell som baseras på teorin om "kinematisk våg" gav bästa resultat.

Alvarez och Sanchez (1980) konstaterar efter undersökningar gjorda i Porto Alegre, Brasilien att en 27 % ökning av hårdytan resulterade i "drastisk ökning av toppflöden och av den vattenmängd som rinner av kort tid och orsakar problem i dräneringssystem." I sin undersökning använde de enhetshydrogrammetoden. Melanen och Laukkanen (1980) uppskattade efter sin forskning på små avrinningsområden att 80 till 90 % av avrinningen kommer ifrån hårdytan och att avrinning från de genomsläppliga ytorna endast förekommer vid lång och intensiv regnnederbörd. Boyd m. fl. (1993) har studerat 26 små, urbana avrinningsområden i 12 länder och konstaterat att den största delen av avrinningen härrörde från hårdytan. Avrinningen från avrinningsområden som var mindre än 25 ha kom enbart ifrån hårdgjorda ytor. På avrinningsområden större än 25 ha härstammade en viss avrinningsmängd även från genomsläppliga ytor. Detta krävde dock lång och intensiv nederbörd.

### **Beskrivning av området**

Avrinningsområdet vid Ultuna har en yta på 88 ha och består främst av åkermark men har också en betydande del urban yta som har ökat med åren. Den dominerande jordarten är styv lera (Torstensson & Eriksson, 1941). Lättlera och mellanlera förekommer på de högre belägna delarna. Sand och mo finns i det nordöstra hörnet (fig. 1.).

Jordarten är en viktig faktor för avrinningen. Lättare jordar har en dämpande effekt på flödesintensitet p g a hög infiltration. Lera missgynnar infiltration och skapar ytavrinning som ger upphov till hög flödesintensitet (Gustafsson m. fl., 1984). Geologiskt sett domineras området av postglacialt sjösediment som ligger på glaciallera och sand (i väst) eller isälvgrus och sand i nordöstra delarna (Johanson, 1916).



**Figur 1.** Ultuna avrinningsområde - jordarter, huvudavloppet och provningsplatserna.

Lerjorden från Ultuna beskrevs med 2 markprofiler (Wiklert m. fl., 1983). Ultuna 1 togs från nordvästra hörnet av det fält som begränsas av Dag Hammarskjölds väg i väst och Ultunaallén i norr (fig. 1). Provtagningen skedde 1969.

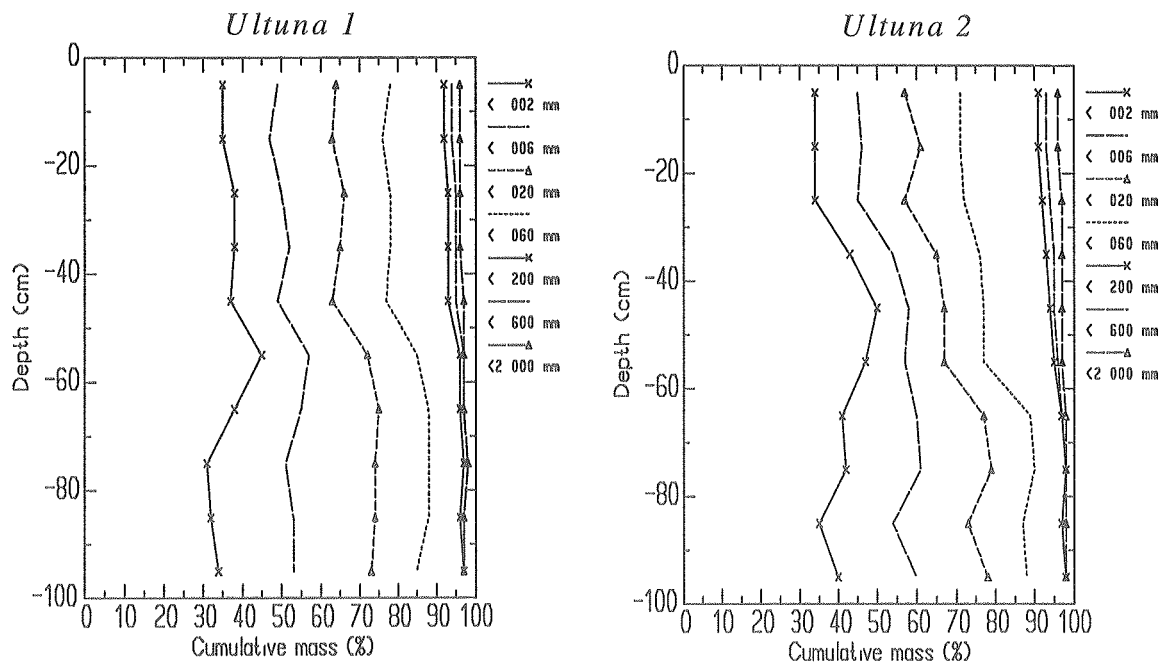
Ultuna 2 är belägen på sydvästra delen av det fält som begränsas av Ultunaallén i söder och Dag Hammarskjölds väg i väst (fig. 1). Provtagningen ägde rum år 1955.

Kornstorleksfördelning, volymförhållanden och konduktivitet för Ultuna 1 och Ultuna 2 ges i figurer 2, 3 och 4.

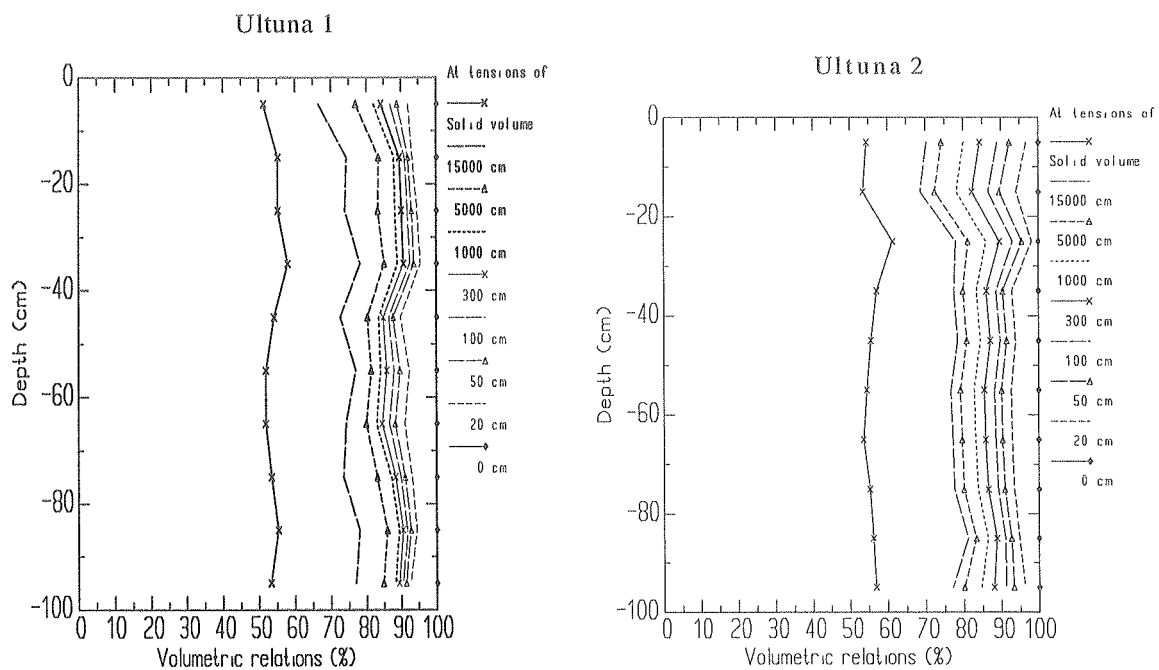
Ultuna 1 är en mullfattig styv mellanlera med kokig struktur. Den har ett väl utvecklat sprick- och kanalsystem. Bra dränering resulterar i hög vattengenomsläpplighet, men ett något tätare skikt finns mellan 10 och 30 cm.

Ultuna 2 är också en mullfattig styv mellanlera men med storkokig struktur. Ett mycket tätt skikt ligger på 10-30 cm och detta begränsar vattenperkolations till djupare skikt. Ultuna 2 har lite högre sandhalt i övre delen och högre lerhalt i den nedre delen av profilen än Ultuna 1.

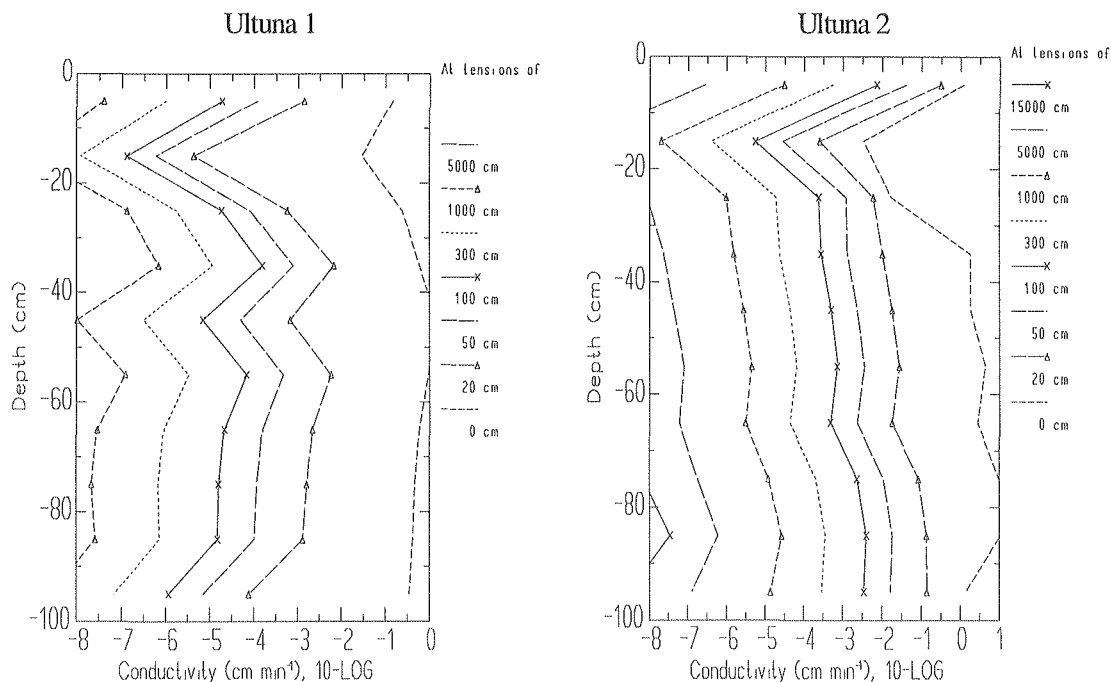
Den största skillnaden mellan jordarna ligger i den mättade konduktiviteten (se fig. 4). Ultuna 2 har en mycket låg mättad konduktivitet för skikt mellan 10 och 20 cm vilket begränsar vattenrörelsen neråt i profilen.



**Figur 2.** Kornstorleksfördelning för Ultuna 1 och Ultuna 2. Kurvorna från vänster till höger står för viktandel av markpartiklar med partikeldiameter <0,002; 0,002-0,006; 0,006-0,02; 0,02-0,06; 0,06-0,2; 0,2-0,6 och 0,6-2,0 mm.



**Figur 3.** Volymförhållanden för Ultuna 1 och Ultuna 2. Från vänster till höger materialvolym, vattenhalter vid de vattenavförande trycken 150mvp, 50mvp, 10mvp, 3mvp, 1mvp, 0,5mvp, 0,2mvp, 0mvp.



**Figur 4.** Konduktivitet för Ultuna 1 och Ultuna 2. Från vänster till höger konduktivitet vid de vattenavförande trycken 50mvp, 10mvp, 3mvp, 1mvp, 0,5mvp, 0,2mvp, 0mvp (Ultuna 1) och 150, 50mvp, 10mvp, 3mvp, 1mvp, 0,5mvp, 0,2mvp, 0mvp (Ultuna 2).

Avrinningsområdet är ganska plant och avvattnades fram till 1957 av ett öppet dike (Hallgren & Tjärnström, 1966). 1957 igenlades det öppna avloppet genom nederbördsområdet med betongrör. Höjdskillnaden mellan lägsta och högsta punkten på området är ungefär 20 m (Johansson, 1916). Lutningen på huvudavloppet är omkring 0,6 % (9 meter höjdskillnad på 1500 meters avstånd). Johansson (1916) konstaterar att åkerjorden är väl avdikad. Hela östra sidan av avrinningsområdet dräneras av åsen och i sydvästra delen finns ett vattenledande sandlager. Ett nät av öppna diken syns på den agrogeologiska kartan över Ultuna egendom från 1915 (Johansson, 1916). Enligt täckdikningsplan avseende Ultuna egendom (1990) utfördes täckdikning i delen som begränsas av Veterinärvägen i norr, Dag Hammarskjölds väg i väst och f.d. Svalöfsfilialen i söder. Däremot genomfördes ej täckdikning söder om f.d. Svalöfsfilialen. Dräneringsledningarna ligger på ca 1m djup med 20 m avstånd.

Mätningar av avrinningen inleddes i slutet av 1930-talet på initiativ av professor H. Flodkvist (Hallgren & Olséni, 1960). Ursprungligen var mätstationen belägen norr om Ultunaallén med ett avrinningsområde på ungefär 60 ha. Det uppstod problem med mätningarna på grund av den svaga lutningen i avloppet och 1951 flyttades mätstation till dagens läge (Hallgren och Rietz, 1963). Mätanordningen består av ett 90° överfallsvärn med en uppfångningsdamm som är 3,6 m lång och 3 m bredd.

Sedan mitten på 1970-talet (L. Hult, pers. medd., 1997) leds dagvatten från området öster om Ulls väg till Fyrisån, vilket minskade avrinningsområdets yta till ca 80 ha.

Det finns få uppgifter om växtodlingen. Enligt T. Rydberg (pers. medd., 1997) dominerades produktionen av stråsäd och oljeväxter. Vallen var under 1950-talet en viktig del av

växtföljden eftersom djurskötsel pågick vid dåvarande Lantbrukshögskolan. I tabell 1 visas växtföljden efter 1984:

**Tabell 1.** Växtföljd på Ultuna från 1984 till 1996

| År   | gröda   | År   | gröda   | År   | gröda   |
|------|---------|------|---------|------|---------|
| 1984 | höstvet | 1989 | höstvet | 1993 | höstvet |
| 1985 | korn    | 1990 | höstvet | 1994 | korn    |
| 1986 | vall    | 1991 | havre   | 1995 | träda   |
| 1987 | vall    | 1992 | vårrybs | 1996 | råg     |
| 1988 | träda   |      |         |      |         |

### Digitaliseringsmetod

Vattenståndet är registrerat från den 8 september 1952 fram till februari 1990 då mätningarna avbröts p g a upprepade sabotage i förening med att medel saknades för upprustning av den då ganska nerslitna mätstationen (A. Bjerketorp, pers. medd., 1997). I det stora hela var mätningarna kontinuerliga med kortare eller längre uppehåll p g a problem med mätinstrumentet. Diagrammen är emellertid inte alltid tydliga och man är tvungen att leta efter förklaringar eller tolka kurvorna enligt tidigare erfarenheter. Kurvorna lästes in under sommaren 1996 med hjälp av ett program som heter MapInfo. MapInfo är ett geografisk datorprogram som visade sig vara användbart för detta arbete. Erhållna datafiler med uppgifter om vattenståndet var lätta att bearbeta.

### Beräkning av avrinningen

Vid omräkning från vattenstånd till flöde användes ekvation för utströmningen från det triangulära överfallsvärnet i mätstationen i Ultunabäcken. Öppningsvinkeln var 90°. Det triangulära värnets som finns i avrinningsstationen kallas Thomsonvärn, vilket utgör en specialform av mätvärn.

$$Q = 2,363 \cdot (0,566 + h/16) \cdot (h + 0,001)^{2,5} \quad (1)$$

Q : avbörding (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)

h : tryckhöjd över värnets vinkelspets (m)

Ekvationen är framtagen av A. Bjerketorp utgående i första hand från Kindsvater och Carters generella formel för triangulära värn (A. Bjerketorp, pers. medd., 1997). Bjerketorps ekvation kan anses gälla 1952-1990. I de ursprungliga filerna är vattenståndet uttryckt i centimetrar. Varje centimeter på pegeldiagrammet motsvarar 5 cm i verkligheten. Även specifik avrinning beräknades med antagandet att området var 88 ha före 1975 och 80 ha för åren därefter. Detta för att underlätta jämförelse med simuleringar och för att kunna ge enkel beskrivande statistik av datamaterialet.

## Den hårda ytan

Information om den hårda ytan och dess andel av den totala ytan är nödvändig för att man kvantitativt skall kunna visa hur avrinningen beror på ytans beskaffenhet. Information om byggnaderna och deras yta erhöles av fastighets förvaltaren Vasakronan (tab. 2 och 3).

**Tabell 2.** Hårdytan - byggnader fram till 1950-talet

| Typ av yta                          | Area (m <sup>2</sup> ) | År   |
|-------------------------------------|------------------------|------|
| Tidiga byggnader                    |                        |      |
| Växthus                             | 275                    | 1940 |
| Växtförädling                       | 872                    | 1940 |
| Statens maskinprovning-Huvudbyggnad | 1512                   | 1949 |
| Provningshall                       | 418                    | 1949 |
| Magasin                             | 320                    | 1949 |
| Personalbostäder                    | 2160                   | 1950 |
| Inst. för landskapsplanering        | 2939                   | 1950 |
| Husdjurförsök                       | 1810                   | 1953 |
| Växtförädling                       | 5491                   | 1954 |
| <i>Summa tidiga byggnader</i>       | <i>15797</i>           |      |

**Tabell 3.** Hårdytan - byggnader och vägar efter 1950-talet

| Typ av yta                        | Area (m <sup>2</sup> ) | År   |
|-----------------------------------|------------------------|------|
| Maskincentral                     | 748                    | 1967 |
| Ultuna SLL                        | 5022                   | 1967 |
| Gälbo                             | 9000                   |      |
| Provcentral                       | 1743                   | 1970 |
| Verkstadshall                     | 2586                   | 1970 |
| Växtpatologi                      | 11543                  | 1971 |
| Statens maskinprovning- Paviljong | 486                    | 1976 |
| Växthus                           | 188                    | 1976 |
| Kliniskt centrum                  | 34305                  | 1976 |
| Annexrestaurang                   | 737                    | 1976 |
| SVA                               | 18931                  | 1979 |
| Central service                   | 2023                   | 1983 |
| <i>Summa byggnader</i>            | <i>87312</i>           |      |
| Vägar                             |                        |      |
| Dag Hammarskjöldsv. ca            | 10560                  |      |
| Ultunaallén ca                    | 13180                  |      |
| Ullsväg ca                        | 15720                  |      |
| Vägar runt kliniskt centrum ca    | 6580                   |      |
| Vägar runt Gälbo                  | 6000                   |      |
| Vägar runt maskinhall ca          | 2400                   |      |
| <i>Summa vägar</i>                | <i>54400</i>           |      |
| <i>Summa total</i>                | <i>141752</i>          |      |

Enligt tabell 2 är den totala ytan av de 1954 befintliga byggnader 15797 m<sup>2</sup>. Tyvärr fanns det inga uppgifter om vägarnas yta. Efter 1950-talet ökade ytan med byggnader på ytterligare 87312 m<sup>2</sup>. Uppgifterna om vägarnas yta fanns inte heller för denna period. En uppskattning av hårdytan under vägar gjordes med hjälp av baskartor över Ultuna (Östergren, 1996). Ytan för de stora vägarna (Dag Hammarskjölds väg, Ultunaallén, Veterinärvägen osv.) uppskattades till ca 54440 m<sup>2</sup>. Hårdytan under parkeringar, mindre vägar och dylikt var svår att bestämma. Sedan mitten på 1970-talet leds en del av dagvattnet (från området öster om Ulls väg) till Fyrisån (L. Hult, pers. medd., 1997). Detta område är ca 8 ha stort och storleken på avrinningsområde reducerades med 8 ha vid beräkningar av hårdytan för 1979 och 1986.

## Rationell metod

### Beräkning av hårdytan

Som ett försök att beräkna andelen hårdyta utnyttjades uppgifter om nederbörd och flödestoppar. Man antar att det omedelbara gensvaret i form av avrinningen efter ett nederbördstillfälle kommer ifrån den hårdgjorda ytan. Flera moment ingår vid dessa beräkningar. Först hittar man ett representativt pikflöde och subtraherar basflödets bidrag till avrinningen. Det finns flera olika metoder för att skilja på bas- och pikflöde. Här användes den som är beskriven av Shaw (1988) där man tar hänsyn till ökningen av basflödet vid nederbörd. Med hjälp av regressionsanalys beräknades pikflödets andel och sedan erhålls andel av hårdytan i % enligt ekvationen nedan:

$$\% \text{ hårdyta} = (\text{summa (pikflödets bidrag)} / \text{summa nederbörd}) \cdot 100 \quad (2)$$

I tabell 4 finns värden för ett nederbördstillfälle i september 1986 och motsvarande avrinningsvärden.

**Tabell 4.** Avrinning och nederbörd i september 1986

| Datum     | Q     | Q-basflöde (mm/dag) | Nederbörd (mm) |
|-----------|-------|---------------------|----------------|
| 20/9 1986 | 0,079 | 0                   | 0,9            |
| 21/9 1986 | 1,551 | 1,4563              | 7,4            |
| 22/9 1986 | 0,349 | 0,2386              | 1,5            |
| 23/9 1986 | 0,126 | 0                   | 0              |
| Summa     |       | 1,6949              | 9,8            |

### Beräkning av avrinningen

Den rationella metoden för avrinningsberäkningen är enkelt och baseras på nederbördsmängder och markytans egenskaper (Shaw, 1988).

$$Q_p = C \cdot i \cdot A \quad (3)$$

där  $Q_p$  betecknar toppflöde,  $C$  är en avrinningskoefficient,  $i$  är nederbördsintensitet och  $A$  är den totala ytan av avrinningsområdet. Vid beräkningarna antar man att nederbördsintensiteten är konstant under ett tidsintervall och över hela områdets yta. Dessa antaganden överensstämmer visserligen inte med verkligheten men förenklar beräkningarna.

Avrinningskoefficienten  $C$  är beroende av ytans beskaffenhet och egenskaper och varierar mellan 0,05 (sand) och 0,95 (urbana ytor). Den rationella metoden ger alltså ett grovt första värde med viktiga brister eftersom nederbördsintensiteten inte är konstant och det är svårt att uppskatta  $C$ -värdet.

I detta arbete jämfördes de uppmätta värdena på avrinningen med värden som erhöles genom beräkningar med olika värden på avrinningskoefficienten ( $C$ ). Avsikten var att få en godtagbar överensstämmelse i vattenvolymer och sedan titta närmare på förloppet under enskilda aktuella året för att se om det finns skillnader mellan 1950-talet och de senare åren.

### Recessionskoefficienter

Ett år är en lång period ur hydrologisk synpunkt. Avrinningen beror av flera faktorer förutom avrinningsområdets ytförhållanden. Dessa faktorer varierar under olika år och det är lättare att arbeta med kortare tidsavsnitt där de övriga avrinningsförutsättningarna är ungefär likadana. Toppflödets bildning och förlopp kan säga mycket om beskaffenheten av avrinningsområdets ytförhållanden. En analys av recessionskurvornas avklingning kan ge svaret på om signifikanta skillnader förekommer. Under denna analys är det viktigt att betrakta både pik- och basflöde. Avklingning är en exponentiell funktion och kan skrivas som:

$$Q = Q_0 \cdot e^{-kt} \quad (4)$$

För att vi skall få en linjär funktion har de naturliga logaritmerna av flödesvärdena använts.

$$\ln(Q/Q_0) = -k \cdot t \quad (5)$$

### Varaktighet av flödesintensiteter

En eventuell högre frekvens av flöden över  $0,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  antogs vara en följd av förändringar i avrinningsområdets ytförhållanden.

### SOIL-modellen

Resultaten jämfördes med simuleringar som gjordes med SOIL - en matematisk modell som beskriver vatten- och värmeförhållanden i marken (Jansson, 1996). SOIL är en processororienterad modell som beräknar flöden och lagring av vatten i systemet mark - växt - atmosfär. Marken delas upp i ett antal skikt som beskrivs med sina fysikaliska egenskaper som t. ex. textur, vattenhållande förmåga, mättad och omättad konduktivitet osv. Som drivvariabler används uppgifter om klimat från det berörda området, som t.ex. temperatur, nederbörd, luftfuktighet osv. Vegetationstäcket beskrivs i modellen med en rad parametrar som tar hänsyn till grödornas egenskaper.



Markegenskaper i modellen är beskrivna med hjälp av markprofilerna Ultuna 1 och Ultuna 2. Alla ansatta värden finns i bilaga 1. Modellen testades med bägge profilerna och sedan valdes profil Ultuna 1.

Som drivvariabler för SOIL-modellen användes uppgifter om klimat- och väderförhållanden från klimatstationen vid Ultuna under en 37-årig period från 1952 till 1988.

Tyvärr fanns det ingen bra beskrivning av växtföljden under den betraktade perioden och alla simuleringar gjordes med en "standardgröda" som antogs sås den 1 maj och skördas den 30 augusti. Även efter 30 augusti fanns växterna med och tog upp vatten fram till början av november då medeltemperaturen sjönk under 5°C. Syftet var att försöka åstadkomma en ungefärlig överensstämmelse med en normal vegetationssäsong för detta område. I modellen användes parametrar som är karakteristiska för gräs- och kornbestånd på lerjordar i Mellan-Sverige (Johnsson & Jansson, 1991). De använda värdena är ett slags medelvärde för dessa två grödor.

Avrinningen från avrinningsområdet med en viss andel hårdyta ( $f_h$ ) beräknades med hjälp av uppgifter om möjlig infiltration ( $Infil_{sim}$ ) enligt modellen. Ingen infiltration sker på den del av avrinningsområdet som är täckt av hårdytan och vattnet rinner till en recipient genom ytavrinning. Resultat blir en högre avrinning som består av avrinningen från den genomsläppliga ytan och ytavrinningen från den hårda ytan.

$$Q = Q_{sim} \cdot (1 - f_h) + Infil_{sim} \cdot f_h \quad (6)$$

## RESULTAT

### Jämförelse med tidigare manuell utvärdering

Hallgren och Tjärnström (1966) ger en översikt över avrinningen från Ultunas avrinningsområde under 13 år (1952 - 1965). En jämförelse med årsavrinningen som beräknats från de digitaliserade värdena gav en bra överensstämmelse. Syftet var att se om de nyskapade datafilerna motsvarar de ursprungliga pegeldiagrammen. Viss osäkerhet förekommer eftersom Hallgren och Tjärnström presenterar sina värden i form av diagram vilka ungefärligt visar den ackumulerade summan av avrinningen under varje år.

**Tabell 5.** Beräknade värden för avrinning enligt Hallgren och Tjernström (1966) och beräknade värden från inlästa diagram från 1950-talet

| År   | Hallgren & Tjernström<br>(mm) | Beräknat från digitaliserade diagram<br>(mm) |
|------|-------------------------------|--|
| 1953 | ≈ 30                          | 40   |
| 1954 | ≈180                          | 174  |
| 1955 | ≈ 80                          | 24   |
| 1956 | ≈ 50                          | 72   |
| 1957 | ≈160                          | 146  |
| 1958 | ≈ 80                          | 78   |
| 1959 | ≈130                          | 135  |

De olika åren gav i stort sett samma resultat så när som på 1955 (se tab. 5). Under våren 1955 genomfördes inga mätningar då "pegeln var tydligen fastfrusen och verkade inte lossna förrän den 15 april" (förklaring på pegeldiagrammet). Vissa manuella mätningar för denna period fanns inte med i de digitaliserade diagrammen medan Hallgren och Tjernström räknade med dem vid sina beräkningar.

Den goda överensstämmelsen visar att övergången från "papper och penna" till databehandling är tillförlitlig och att inga större fel kommer att uppstå på grund av felaktig inläsning. Med andra ord motsvarar de nyskapade datafilerna i hög grad de ursprungliga pegeldiagrammen.

Medelavrinningen (1931-1960) i Uppland var 217 mm (Eriksson, 1980). Enligt SMHI:s avrinningskarta (1996) ligger avrinningen i Uppsalaområdet mellan 6 och 8  $\text{ls}^{-1}\text{km}^{-2}$ , det vill säga mellan 190 och 250  $\text{mm}\text{år}^{-1}$ . Erhållna värden för Ultunabäcken är lite lägre men i samma storleksordning. Lokala variationer i avrinningen och ofullständiga mätvärden kan förklara denna skillnad.

## Den hårda ytan

Med tanke på den totala ytan (88 ha) ger ett värde av 15797  $\text{m}^2$  en hård yta som är drygt 1,8 % av det totala avrinningsområdet. Ett värde på 3-5 % hård yta kan antas som rimligt för 1950-talet om man tar hänsyn till de då befintliga vägarna med mera. Efter 1950-talet ökade hårdytan genom fortsatt utbyggnad med ytterligare 87312  $\text{m}^2$  till sammanlagt 103109  $\text{m}^2$  eller 12,9 % av avrinningsområdet. Ytan under vägarna har också ökat jämfört med 1950-talet. Med hjälp av baskartorna över Ultuna uppskattades den till ca 54440  $\text{m}^2$  (se tab. 3) som sammanlagt ger 157549  $\text{m}^2$  under hårdyta. Dagvatten från området öster om Ulls väg leds sedan mitten på 1970-talet till Fyrisån. Om avrinningsområdet reduceras för dessa 8 ha öster om Ulls väg ger det ovannämnda värdet 19,7 % hårdyta. Tyvärr fanns det inga uppgifter om ytan under parkeringsplatser, mindre vägar osv. Det är alltså svårt att ge ett exakt värde på den hårdgjorda ytan, men ett värde mellan 20 och 25 % kan antas vara rimligt.

## Rationell metod

### Beräkning av hårdytan

Enligt ekvationen (2) erhålls procentuell andel av hårdytan för ett pikflöde i september 1986:

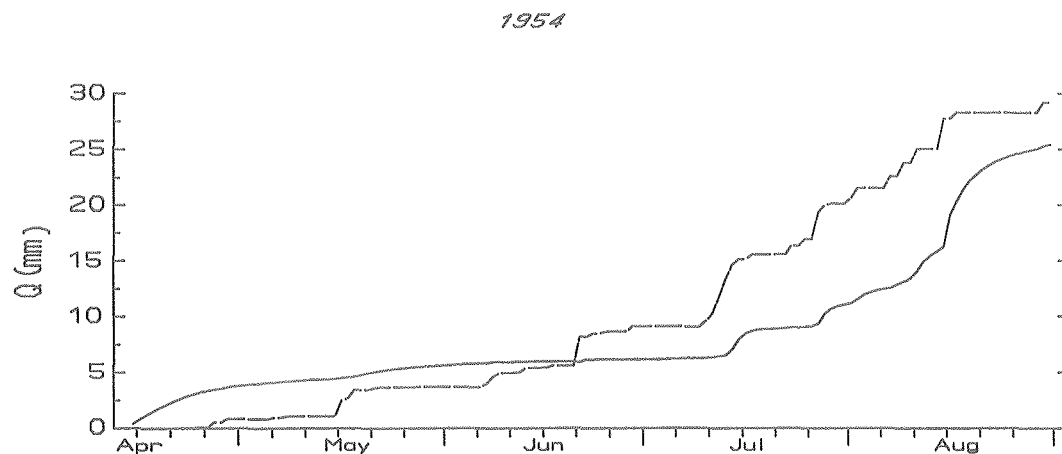
$$1,7/9,8 \cdot 100 = 17,3 \%$$

Tyvärr visade värden mycket stora variationer för olika nederbördstillfällen. Dygnsmedelvärden på avrinningen användes vid beräkningar och på så sätt missades de korta och snabba responserna på nederbörden. Å andra sidan fanns det bara dygnsmedelvärden för nederbörd och det fanns inga förutsättningar för att mer i detalj kunna beräkna den hårdgjorda ytan direkt från nederbördsuppgifter och avrinningsmätningar.

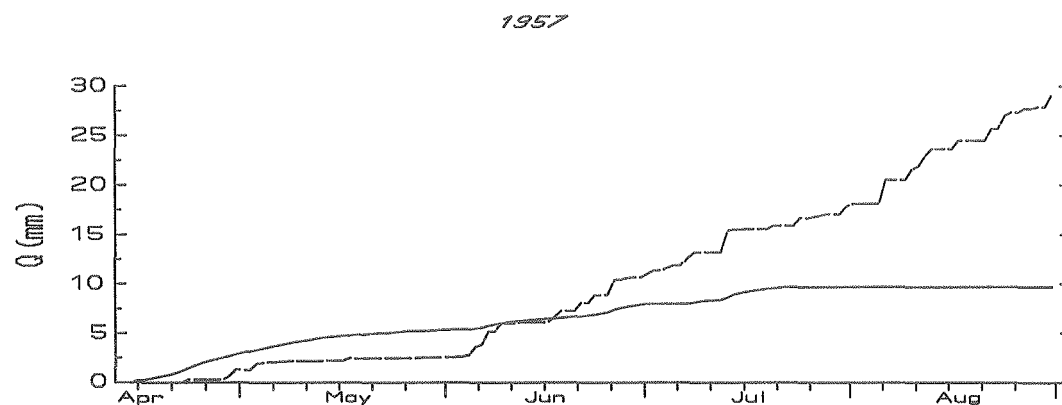
### Beräkning av avrinningen

Enligt ekvationen (3) ser vi att varje nederbördstillfälle bidrar till avrinningen. Det finns ingen skillnad mellan typ av nederbörd, dvs både regn och snö ger omedelbart gensvar i form av avrinning. Snön kan ju dock stanna en längre period på markytan och ge upphov till avrinning senare under året eller till och med under följande året. För att undvika fel på grund av smältning av snö från föregående år beräknades och jämfördes avrinningen från mitten av april. Från april till augusti är grundvattenytan låg och grundvatten bidrar inte till avrinningen. Som tidigare nämdes är slutsummor diskutabla med tanke på problem med mätningarna och att en del mätvärden saknas, som t. ex. augusti 1957. De observerade värdena kan alltså vara något underskattade. Om man tar hänsyn till detta erhålls att den bästa överensstämmelse mellan uppmätt avrinning och avrinning beräknad enligt den rationella metoden fås med avrinningskoefficienter på 0,1 för 50-talet, 0,17 för 1979 och 0,2 för 1986.

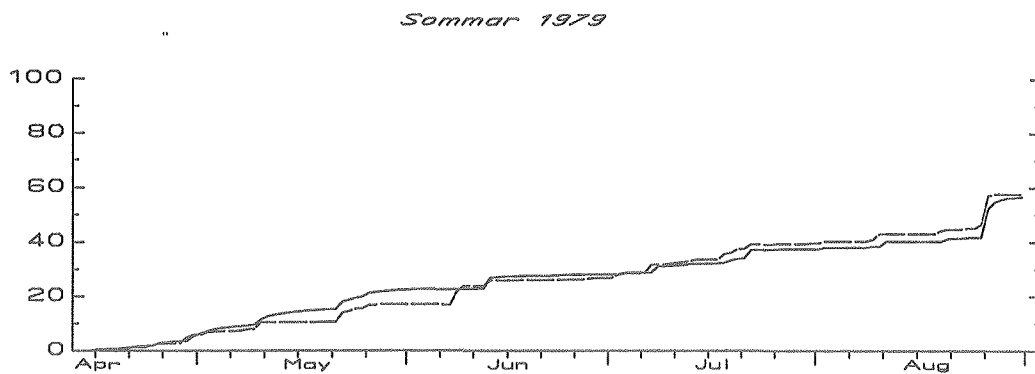
Det som är särskilt intressant är mönstret i avrinningen. I figurerna 5-8 visas kurvor för två år på 1950-talet (1954 och 1957) och två år från den senare perioden (1979 och 1986) då den hårdgjorda ytans andel hade ökat.



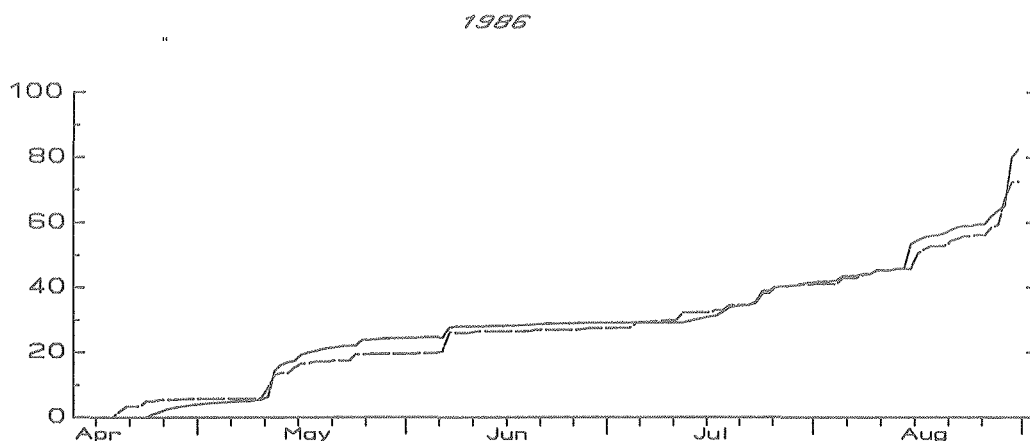
**Figur 5.** Ackumulerad avrinning - uppmätt (heldragen linje) och beräknad enligt den rationella metoden (streckad linje) för perioden 15 april-31 augusti 1954. Avrinningskoefficienten (C) är 0,1.



**Figur 6.** Ackumulerad avrinning - uppmätt (heldragen linje) och beräknad enligt den rationella metoden (streckad linje) för perioden 15 april-31 augusti 1957. Avrinningskoefficienten (C) är 0,1.



**Figur 7.** Ackumulerad avrinning - uppmätt (heldragen linje) och beräknad enligt den rationella metoden (streckad linje) för perioden 15 april-31 augusti 1979. Avrinningskoefficienten (C) är 0,17.



**Figur 8.** Avrinning - uppmätt (heldragen linje) och beräknad enligt den rationella metoden (streckad linje) för perioden 15 april-31 augusti 1986. Avrinningskoefficienten (C) är 0,2.

Det uppträdde ingen bra överensstämmelse mellan den uppmätta och den beräknade avrinningen för 1954 och 1957. Kurvorna följer inte varandra. Däremot visar de beräknade kurvorna för 1979 och 1986 ungefär samma mönster som de uppmätta. Beräknad  $r^2$ -faktorer för dessa kurvor visade en bra överensstämmelse för 1979 och 1986 med  $r^2$ -värden på 0,979 respektive 0,982. Däremot var  $r^2$ -värdena ganska låga för 1954 och 1957: 0,855 respektive 0,802. Värderna på dessa avrinningskoefficienter är diskutabla eftersom de ej är matematiskt bevisade.  $r^2$ -värdena för kurvor erhållna med olika C-värden är nämligen samma och lika med det som fås när nederbörden plottas mot den uppmätta kurvan. Däremot kan värdet på kurvornas lutning vara en bra indikator på hur bra de följer varandra. Ju närmare 1 lutningskoefficienten är desto bättre överensstämmelse uppnås. I tabell 6 finns värden på lutningskoefficienter för fyra olika år vid olika värden på avrinningskoefficienten (C).

**Tabell 6.** Lutningskoefficient ( $A_1$ ) för 1954, 1957, 1979 och 1986 vid beräkningen av avrinningen med olika värden på avrinningskoefficienten

| Avrinningskoefficient (C) | 1954 | 1957 | 1979 | 1986 |
|---------------------------|------|------|------|------|
| 0,08                      | 1,1  | 2,24 | -    | -    |
| 0,1                       | 1,44 | 2,8  | -    | -    |
| 0,15                      | 2,16 | -    | 1,3  | 0,69 |
| 0,17                      | -    | -    | 1,1  | -    |
| 0,2                       | -    | 5,6  | 0,98 | 0,93 |
| 0,3                       | -    | -    | 1,95 | 1,39 |

Bästa värden erhöles med låg avrinningskoefficient (0,08) under 1950-talet och med något högre för 1979 och 1986 (0,17 respektive 0,2). Det är dock väldigt osäkert att använda den rationella metoden för beräkningar under 1950-talet. De erhållna kurvorna motsvarar inte verkligheten trots att man får en rimlig överensstämmelse i den totala avrinningen under perioden.

Vid beräkningar med den rationella metoden ger även små skurar sitt beräkningsmässiga bidrag till avrinningen och avrinningen är dessutom kontinuerlig. Metoden är enkel och tar inte hänsyn till lagring av vatten i marken. Vatten som genom nederbörd faller på hårdyta uppträder på ett sätt som liknar det som beskrivs med den rationella metoden. Vatten lagras inte i marken utan rinner raka vägen till recipienten. Därför får man en bra överensstämmelse under de senare åren (1979, 1986).

Notera också en betydande skillnad mellan den totala avrinningen under perioden. Under 1954 och 1957 var avrinningen låg. Även om det fanns mätningar under augusti 1957 är det svårt att tro att avrinningen skulle överstiga 30 mm. Under samma period 1979 och 1986 var den totala avrinningen betydligt högre, 56 respektive 82 mm. Nederbörds mängden under samma period var något högre under 1979 och 1986 (339 respektive 362 mm) än under 1954 och 1957 (292 respektive 290 mm).

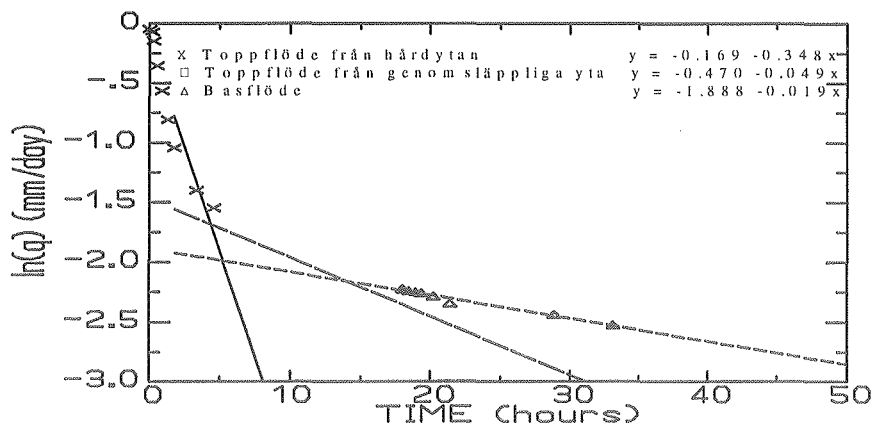
### Recessionskoefficienter

Det var svårt att hitta två avrinningssituationer under 1950-talet respektive under den senare perioden som liknar varandra. Avrinningen under sommarmånaderna på 1950-talet var mycket låg. Däremot var det under 1979 och 1986 svårt att hitta avrinningstoppar med ca 1 mm eller lägre. Ett regn över ett avrinningsområde med en betydelsefull andel av hårdyta ger upphov till snabba och korta svar på nederbörden. Under 1957 fanns det inte så stor yta med låg eller obefintlig infiltration, svaret på nederbörden var fördröjd och små skurar gav inget utslag på avrinningen när marken var torr.

Under somrarna 1957 respektive 1986 inträffade två ungefär likadana avrinningssituationer. Vid bägge tillfällena förekom ett svar på nederbörden där maxvärdet för avrinningen nådde ungefär samma nivå ( $0,95 \text{ mmdag}^{-1}$  under 1957 och  $1,1 \text{ mmdag}^{-1}$  under 1986). Det hade varit torrt i marken före dessa båda nederbördstillfällen. En iögonfallande skillnad är att nederbörds mängderna var mycket olika, 15 mm regn under 6 och 7 juni 1957 jämfört med 2,3 mm i 1986. Recessionskoefficienter för dessa två episoder återfinns i figurer 9 och 10. Ett försök gjordes att skilja på pikflöde från hårdytan och pikflöde som är svar på nederbörd från hela nederbördsområdet. I figurer 9 och 10 finns tre olika ekvationer och avsikten med dessa

är att den första visar pikflödet från hårdytan, den andra pikflödet från resten av nederbördsområdet och den tredje basflödet.

Juni 1957

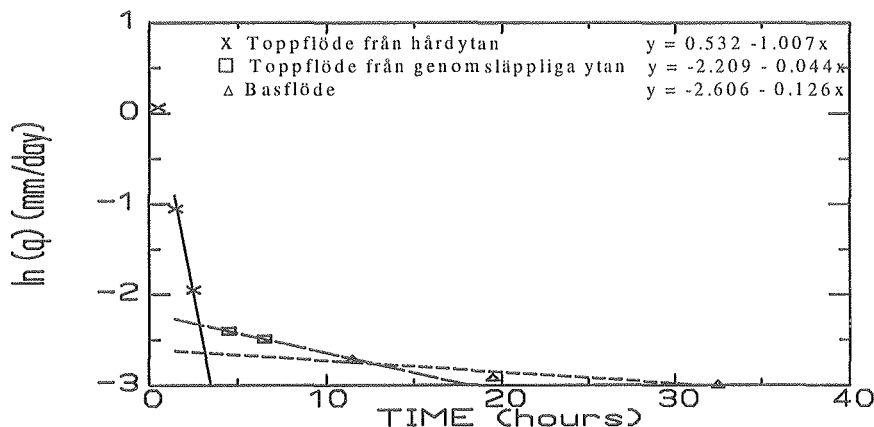


**Figur 9.** Recessionskoefficienter för ett nederbördstillfälle i juni 1957. Y- axeln visar den naturliga logaritmen av värden för flödet och x- axeln visar tiden (timmar).

Lutningen på kurvan som visar hur toppflöden från den genomsläppliga ytan avtar borde vara i samma storleksordning såväl under 1957 som 1986. I detta fall var de ganska nära varandra (-0,0491 och -0,0437). Tyvärr fanns det för få mätpunkter för att man klart skall kunna avgränsa toppflöden under 1986. Under 1957 fanns en mindre del hårdyta (3-5 %) och toppflödet från hårdytan avklingar därför långsammare än under 1986 (-0,348 mot -1,007).

Basflödet tycks också vara påverkat. Det är lägre under 1979 och 1986 än under 1950-talet. Markanvändning och packning kan ha lett till ökad andel små porer på bekostnad av medelstora porer och marken behåller därför mer vatten än tidigare.

Juni 1986

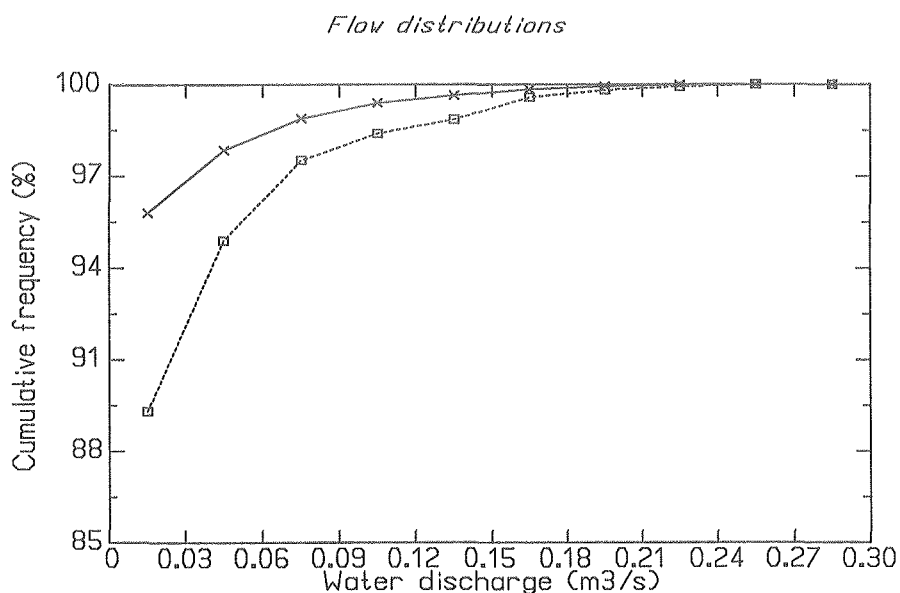


**Figur 10.** Recessionskoefficienter för ett nederbördstillfälle i juni 1986. Y- axeln visar den naturliga logaritmen av värden för flödet och x- axeln visar tid i timmar.

## Varaktighet av flödesintensiteter

Förändringar i frekvens av höga pikflöden kan vara en indikation av förändringar i ytans beskaffenhet. Under 1950-talet var flöden över  $0,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  en sällsynt förekomst, vanligtvis en gång per år. Detta skedde oftast på våren vid snösmältningen. Flöden över  $0,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  registrerades 9 gånger under hela perioden 1952-1959 (se bilaga 2). Detta stämmer med uppgifter från Hallgren och Olséni (1960) som under 1958-1959 registrerade flöden över  $1,5 \text{ ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$  endast under april 1958 och februari-mars 1959. Däremot, under 1979 och 1986 registrerades höga flöden (över  $0,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) 8 respektive 10 gånger (bilaga 2). Varje år under 1970- och 1980-talen förekom med andra ord lika många högflöden som under hela 1950-talet. Högflöden under 1979 och 1986 är fördelade under hela året. Det förekom alltså även under sommaren. Nederbörden var i augusti 1986 mycket högre än normalt: 158 mm jämfört med 66 mm som är normalvärde för augusti (Meteorologiska observationer vid Ultuna, 1986). Juli hade dock normala nederbördsvärden och ändå förekom flöden högre än  $0,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Sommarflödena var under 1950-talet ytterst låga. Den logiska förklaringen är att högflöden uppstår på grund av ytavrinningen från den hårda ytan. Med ökad andel av hårdytan ökar risken för höga flöden, speciellt vid tillfällen med hög nederbörd. Den 26 augusti 1979 föll det över 62 mm regn vilket resulterade i ett flöde på nästan 370 liter per sekund eller  $4,2 \text{ ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$ . Detta kan jämföras med ett värde i september 1957 "då ett toppvärde av  $2,6 \text{ ls}^{-1}\text{ha}^{-1}$  noterades" (Hallgren och Tjärnström, 1966) efter ett regnfall på 43 mm.

Ett annat sätt att undersöka om det finns skillnader i flöden är att se på flödesvaraktigheten under 1950-talet respektive 1979 eller 1986 (fig. 11).



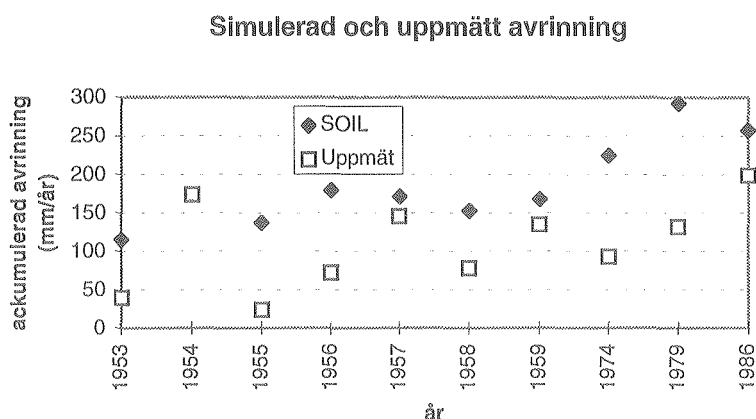
**Figur 11.** Flödesvaraktighet för 1952-1959 (—x—) respektive 1986 (---□---).

Drygt 95 % av alla flöden under perioden 1953-1959 ligger under  $0,03 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  medan detta värde år 1986 är under 90 %. Högre flöden förekom oftare under 1986 och deras betydelse i förhållande till den totala avrinningen är större.

## Simuleringar med SOIL modellen

Resultat av simuleringar visade att Ultuna 2 profil hade alldeles för låga K-värden i skiktet 10-20 cm, avrinningen hade mycket höga värden och dominerades av ytavrinningen. Simuleringar med Ultuna 1 profilen hade en bättre fördelning mellan dränerings- och ytavrinningen på grund av högre konduktivitet och vattengenomsläpplighet. Det bör dock nämnas att konduktivitet (K-värdet) varierar både i rum och tid (säsong) (Messing, 1993) på grund av förändringar i markstrukturen.

Beräknade årliga avrinningsvolymen enligt modellsimuleringarna överskred systematiskt mätningarna för samtliga år (fig. 12).



**Figur 12.** Jämförelse mellan ackumulerad avrinning i SOIL-modellen och ackumulerad avrinning enligt uppmätta värden.

Största skillnader uppstod under våren, vid snösmältningen och under vintern då vattenspegeln frös inne i mätstationen. Vid vissa tillfällen fungerade inte mätinstrumentet. Andra episoder kan förklaras med den mänskliga faktorn, t ex. att man glömde byta diagrammet, att klockan hade stannat osv. Hallgren och Rietz (1963) konstaterar att "det har visat sig svårt att kunna starta mätningarna tillräckligt tidigt på våren samt att hålla igång pendlarna tillräckligt länge på vintern." Det är alltså viktigt att förstå att mätvärden kan också vara felaktiga innan man börjar leta efter felet i modellen.

Snösmältning på våren gav alltså upphov till skillnader mellan uppmätta värden och SOIL-simuleringar. Enligt M. Stähli (pers. medd., 1997) förekommer stora skillnader mellan mätningar av snödjupet på två olika platser vid Ultuna. Värden från klimatstationen kan vara upp till 30 % högre än värden uppmätta vid ett mätställe vid Institution för markvetenskap. Visserligen använder man inte snödjup i modellen utan nederbörds mängden men skillnaden i snödjupet kan vara ett tecken på att vinden kan omfördela relativt stora snömängder inom området.

En annan felkälla i modellberäkningen kan vara grödan. Simuleringar gjordes med samma parametrar för hela perioden. I verkligheten ändrades vegetationstäcket från år till år. Den simulerade avrinningen inkluderar också vattnet som genom perkolation går till de djupare skikten.

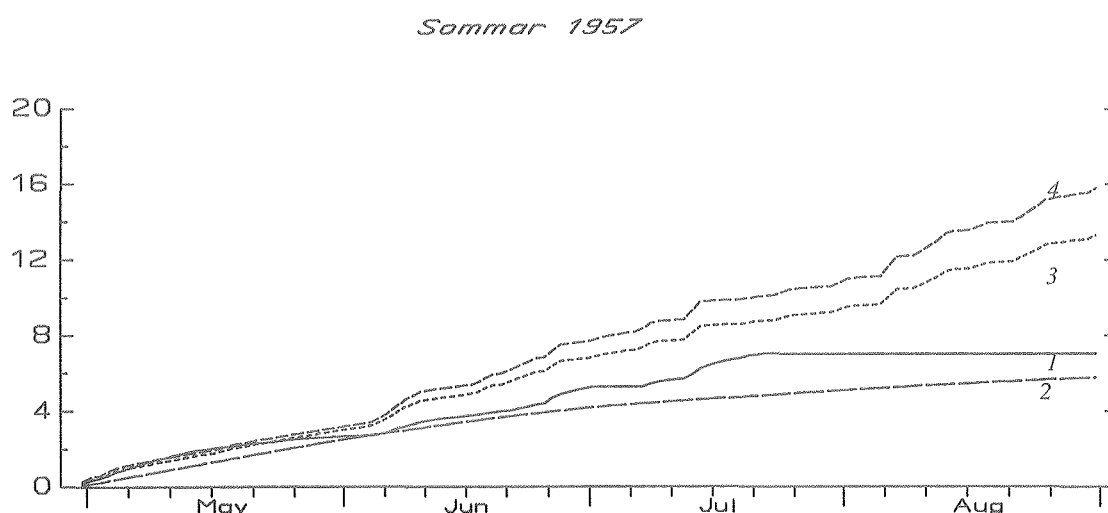


Kan vi trots dessa svårigheter se skillnader i den årliga avrinningen efter förändringar orsakade av urbanisering? Den årliga summan av avrinningen är mycket mer beroende av nederbörd och evaporationsförutsättningar än av hårdyteandelens storlek. Därför är det intressantare att titta på förloppet under enskilda år än på den slutliga summan. I SOIL-modellen har man inte tagit hänsyn till hårdytan. Åren 1957, 1959, 1979 och 1986 ska användas som representativa för 50-talet respektive för den senare perioden med en ökad andel hårdyta.

Avrinning med 4 % hårdyta beräknades enligt ekvation (6):

$$Q = Q_{sim} \cdot 96 \% + Infil_{sim} \cdot 4 \%$$

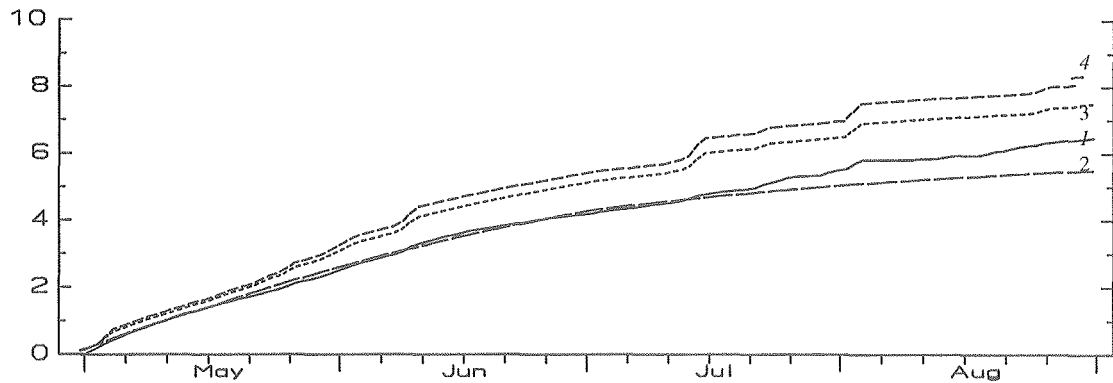
För att undvika problem med snösmältningen och låga temperaturer jämfördes uppmätt och simulerad avrinning under sommarmånaderna. Under denna period är basflödet lågt, marken är torr och hårdytan har stor betydelse för avrinningen. Uppmätta och simulerade värden följer varandra ganska bra under 1957 och 1959 (fig. 13 och 14).



**Figur 13.** Ackumulerad avrinning - uppmätt (1), simulerad (2) och simulerad med 3 % (3) respektive 4 % (4) hårdyta (mm/dygn) under sommaren 1957.

Under augusti 1957 var "mätstationen ej i funktion på grund av den då pågående igenläggningen av avloppet" (Hallgren och Tjärnström, 1966) och en rak linje erhöles som den uppmätta kurvan (se augusti månad på fig. 13). Det är dock ganska troligt att avrinning förekom även i augusti 1957 (såsom var fallet i simuleringen där hårdytan är satt till 3 och 4 %) med tanke på den rikliga nederbörden. Bortsett från detta har den uppmätta avrinningen och den simulerade avrinningen med 3 respektive 4 % hårdyta samma mönster. De skillnader som erhöles mellan simulerad och observerad avrinning kan bero på många faktorer som t. ex. val av parametrar som beskriver grödan. Observera att värden för avrinningen är låga och att en fullständig överensstämmelse är svårt att uppnå.

*Sommar 1959*

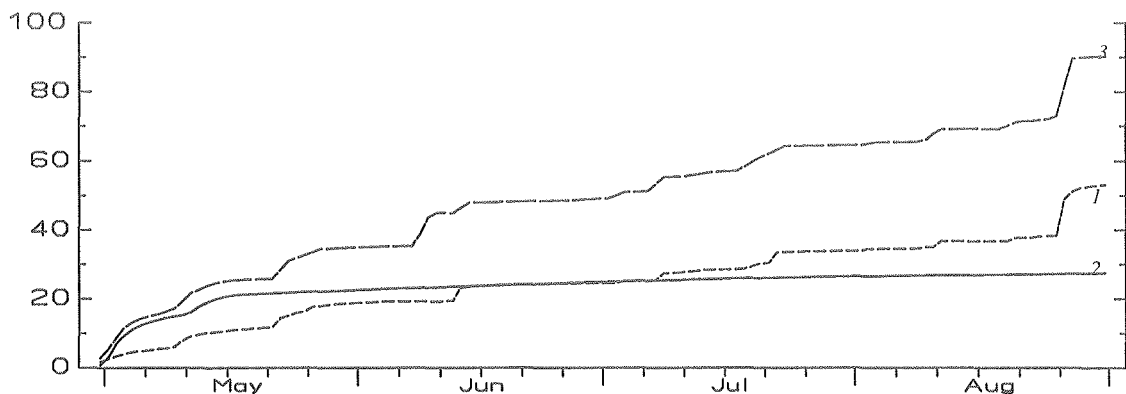


**Figur 14.** Ackumulerad avrinning - uppmätt (1), simulerad (2) och simulerad med 3 % (3) respektive 4 % (4) hårdyta (mm/dygn) under sommaren 1959.

I 1959 var likheterna mellan simulerad och observerad avrinning ännu bättre. Förutom i mitten av juli och i början av augusti har mätningarna gått problemfritt. Avrinningen var mycket låg men en väldigt bra överensstämmelse erhöles mellan observerad och simulerad avrinning med 3 respektive 4 % hårdyta.

Situationen är annorlunda för inlästa år under den senare perioden. Uppmätt och simulerad avrinning har inte samma mönster såsom var fallet under 1950-talet (fig. 15 och 16).

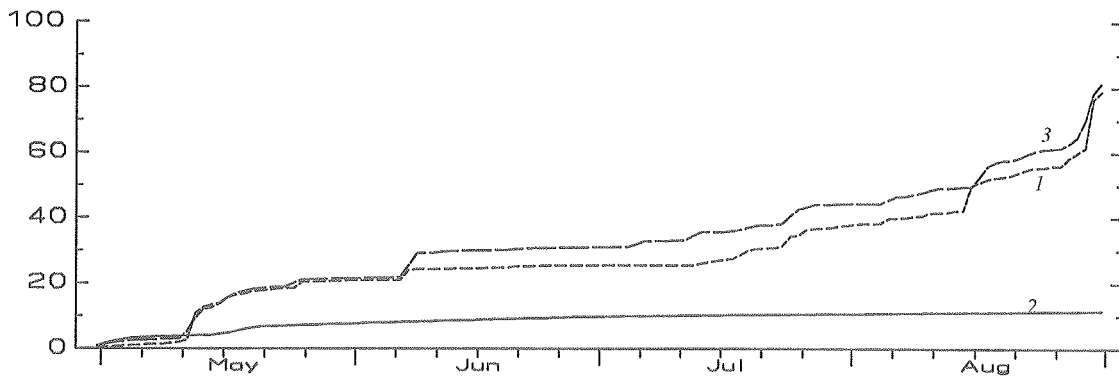
*Sommar 1979*



**Figur 15.** Ackumulerad avrinning - uppmätt (1), simulerad (2) och simulerad med 23 % hårdyta (3) i mm/dygn under sommaren 1979.

Skillnaden mellan uppmätt och simulerad avrinning för 1979 är mycket stor. Däremot uppvisar uppmätt och simulerad avrinning med 23 % hårdyta samma mönster. De ackumulerade summorna av avrinningen under perioden är dock olika (90 mm för simulerad avrinning med 23 % hårdyta jämfört med 53 mm i observerad avrinning). I början av maj hade man glömt byta pegeldiagram och den erhållna kurvan var svårtolkad. I första hälften av juni hade klockan stannat varigenom en episod med högt flöde missades. Dessa två episoder förklarar delvis skillnaden i den totala avrinningen. Den återstående skillnaden kan bero på många faktorer som t. ex. brister i beskrivningen av vegetationstäckets eller förluster genom perkolation.

*Sommar 1986*



**Figur 16.** Ackumulerad avrinning - uppmätt (1), simulerad (2) och simulerad med 23 % hårdytan (3) i mm/dygn under sommaren 1986.

Mönstret från 1979 upprepas under 1986. En mycket bra överensstämmelse erhöles mellan observerad avrinning och simulerad avrinning med 23 % hårdyta. Kurvan på pegeldiagrammet för 7 juni 1979 är ostadig och svårtolkad. Denna dag inträffade enligt modellen en episod av hög flöde.

Ett möjligt systematiskt fel som kan vara anledning att simulerade avrinningar med en viss procent hårdyta alltid är högre än observerade värden, ligger i sättet att beräkna hårdytans bidrag till avrinning (se ekvation 6). Infiltration (beräknad med modellen) för en viss andel av hårdytan antas bidra utan förluster till avrinningen. Det är dock osannolikt att inga förluster förekommer under vattnets väg från regnnedslag till mätpunkten.

Ett sätt att statistiskt uppskatta likheten mellan kurvorna är att jämföra  $r^2$ -värden med de lutningskoefficientvärden när kurvorna plottas mot varandra.

**Tabell 7.**  $r^2$ -värden vid jämförelser mellan den uppmätta avrinningen och de simulerade avrinningarna med olika andel av hårdyta för 1957, 1959, 1979 och 1986

| Simulering<br>% hårdyta | $r^2$ -värde |       |       |       |
|-------------------------|--------------|-------|-------|-------|
|                         | 1957         | 1959  | 1979  | 1986  |
| 0 (SOIL)                | 0,958        | 0,983 | 0,680 | 0,728 |
| 3                       | 0,932        | 0,997 |       |       |
| 4                       | 0,921        | 0,998 |       |       |
| 5                       | 0,911        | 0,996 |       |       |
| 6                       | 0,904        | 0,996 |       |       |
| 21                      |              |       | 0,984 | 0,977 |
| 23                      |              |       | 0,985 | 0,978 |
| 25                      |              |       | 0,986 | 0,979 |
| 30                      |              |       | 0,987 | 0,980 |
| 31                      |              |       | 0,888 | 0,981 |
| 35                      |              |       | 0,888 | 0,981 |

**Tabell 8.** Värden på lutningskoefficientvärden ( $A_0$  och  $A_1$ ) vid jämförelser mellan den uppmätta avrinningen och de simulerade avrinningarna med olika andel av hårdyta för 1957, 1959, 1979 och 1986

| Simulering<br>% hårdyta | 1957  |       | 1959  |       | 1979  |        | 1986  |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
|                         | $A_0$ | $A_1$ | $A_0$ | $A_1$ | $A_0$ | $A_1$  | $A_0$ | $A_1$ |
| 0 (SOIL)                | 0,19  | 0,74  | 0,19  | 0,86  | 14,76 | 0,34   | 4,76  | 0,14  |
| 3                       | -1,26 | 1,67  | -0,12 | 1,12  |       |        |       |       |
| 4                       | -1,75 | 1,98  | -0,22 | 1,28  |       |        |       |       |
| 5                       | -2,24 | 2,29  | -0,33 | 1,39  |       |        |       |       |
| 6                       | -2,73 | 2,59  | -0,43 | 1,50  |       |        |       |       |
| 21                      |       |       |       |       | 7,13  | 1,58   | 2,37  | 0,99  |
| 23                      |       |       |       |       | 6,41  | 1,70   | 2,14  | 1,07  |
| 25                      |       |       |       |       | 5,68  | 1,82   | 1,91  | 1,16  |
| 30                      |       |       |       |       | 3,87  | 2,12   | 1,35  | 1,37  |
| 31                      |       |       |       |       |       | 285,00 | 1,23  | 1,40  |
| 35                      |       |       |       |       |       | 268,00 | 0,78  | 1,57  |

Värdena i tabell 7 och 8 gäller för tiden 30 april - 31 augusti, då basflödets bidrag till avrinningen är som minst och den hårdgjorda ytans betydelse är som störst.

Det som bör noteras först är den ganska dåliga överensstämmelsen mellan den SOIL-simulerade kurvan och den uppmätta kurvan (0,680 år 1979 och 0,728 år 1986) jämfört med 1957 (0,958) och 1959 (0,983). Sedan steg  $r^2$ -värdet för 1979 och 1986 med en ökad andel hårdyta. En bra överensstämmelse erhöles med 21-25 % hårdyta, vilket ligger inom rimliga intervall (se Resultat - Beräkningen av hårdgjorda ytan). Även lutningen ( $A_1$ ) hade rimliga värden inom intervallet 20-25 % hårdyta (se tab. 8). Det var oväntat att  $r^2$ -värdet fortsatte att stiga och nådde högst värde vid 30 % hårdyta. En 30-procentig andel hårdyta är ganska osannolik. Värdet på lutningskoefficienten vid 30 % hårdyta var dock för höga. Med hänsyn till detta erhöles bästa överensstämmelse i hårdyteintervallet 20-25 % och därmed bekräftas delvis det uppskattade värdet för hårdytans andel. Att  $r^2$ -värde är bäst vid 30-procentig andel hårdyta kan även tolkas som en följd av förändringar i markens egenskaper. Den intensiva jordbruksproduktionen har säkerligen påverkat marken och vattnets uppträdande i denna. Packningen och förändringar i strukturen påverkar vattnets väg till vattendragen. Markegenskaper som användes i SOIL togs från Ultuna 1 profilen. Provtagningen skedde 1969 och det är mycket troligt att vissa förändringar i markegenskaper har skett fram till 1986. Det är emellertid omöjligt att dra några säkra slutsatser utan närmare kännedom om markegenskapernas förmodade förändring.

Hård yta ger en ökad avrinning som framgår av figurer i bilaga 3 (jämför den simulerade kurvan och kurvan med 23 % hårdyta för hela år i bilaga 3). Simulering med 4 % hårdyta under 1957 och 1959 ökade avrinningen med 10,9 respektive 6,6 % medan ett värde på 23 % hårdyta åren 1979 och 1986 resulterade i 25,2 respektive 26,7 % ökning. Den stora skillnaden mellan 1957 och 1959 sammanhänger med nederbördsfördelningen under året. 1957 föll det ca 400 mm under sommaren då hårdytan har störst betydelse.

Ökad avrinning under senare år kan betraktas som ett resultat av en ökad andel hårdyta. De observerade värden för somrarna 1954 och 1957 är väldigt låga (25 respektive 10 mm) jämfört

med somrarna 1979 och 1986 (56 respektive 82). Visserligen föll det något mer regn under somrarna 1979 och 1986 men så stora skillnader i avrinningen kan inte förklaras enbart med skillnader i nederbörd. Ytavrinningen från hårdytan är huvudorsaken till högre avrinning.

## SLUTSATSER

Den hårdgjorda ytan inom ett avrinningsområde påverkar vattnets väg från nederbörd till vattendrag och därmed också alla processer som vattnet i fråga är en del av. Förändringar inom ett avrinningsområde kommer att resultera i förändrade förutsättningar för vattnets väg och omsättning i systemet. Markanvändning, förändringar i markegenskaper och växtföljd är bara några av de faktorer som påverkar avrinningen. Den viktigaste faktorn för Ultunaområdet är andelen hårdgjord yta i förhållande till avrinningsområdets storlek. Små avrinningsområden som Ultuna är känsliga för förändringar, medan stora system reagerar med större tröghet eftersom urbanisering sker på en relativt liten yta i förhållande till avrinningsområdets storlek. Förändringar i avrinningen från Ultunaområdet orsakade av en ökad andel hårdyta kan vara något dämpade under våren och hösten med tanke på att styv lera är den dominerande jordarten. Enligt Gustafson m. fl. (1984) förekom ytavrinning på lerjordar under dessa tider på året även när det inte förekommer någon hårdyta.

En påläggning av hårdgjord yta kommer att öka ytavrinningens inslag i den totala avrinningen. Enligt Alvarez och Sanchez (1980) resulterade en ökning av hårdytan i "en drastisk ökning av toppflöden och av den vattenmängd som rinner av under en kort tid". Bägge företeelserna kan observeras på Ultunas avrinningsområde. Det är svårt att kvantitativt uttrycka förändring (ökning) i avrinningen eftersom den är beroende av andra faktorer som t. ex. nederbörd. Nederbördsrika somrar kommer att ge upphov till högre avrinning. Det är mer avrinningsförloppet under året som blir påverkat. Den hårda ytan kommer att ge bidrag till avrinningen efter varje regn och detta kommer att återspeglas speciellt mycket på avrinningskurvan under sommarmånaderna. Samtidigt kommer även lägre nederbörd att ge högre flödestoppar än under perioden innan den hårda ytan fanns med i bilden. Episoder med höga flöden blir vanligare även under sommaren.

Liknande effekter kan förväntas av jordpackningen. Då kan även stora avrinningsområden drabbas av en ökad avrinning under sommaren och snabbare svar på nederbörd. Det krävs dock ett fortsatt arbete och bättre kunskap om förändringar i markegenskaper för att man skall kunna kvantitativt bedöma deras betydelse för förändringar i avrinningen. I dag finns många profilbeskrivningar tagna från olika platser på Ultuna. De är dock mestadels från 1950- och 1960-talet och det skulle vara intressant att göra profilbeskrivningar på exakt samma platser i dag för att se eventuella förändringar i markegenskaper.

Ett problem med undersökningar av typen före och efter urbanisering är förändringar av vattendelare och därmed områdets effektiva storlek. Det skulle vara intressant att göra en jämförande studie mellan Ultunaområdet och ett icke urbaniserat område i närheten.

En kortare väg för vattnet från nederbörd till vattendrag kan innebära en ökad risk för miljön. Vattnet går miste om markens renande verkan och förorenad eller sur nederbörd hamnar direkt i vattendragen. Dessutom kan vatten från asfaltytor berikas med andra föroreningar som t. ex. tungmetaller. Speciellt farliga är höga sommarflöden med förorenat vatten eftersom vattendragens basflödet är mycket låga sommartid så att föroreningar inte kan spädas ut.

Förhoppningsvis kommer bearbetningen av denna mätserie inte att avslutas med detta arbete, speciellt med tanke på att mätningarna återupptagits sedan april 1996. Visserligen innebär detta ytterligare kostnader men det blir ännu dyrare om man inte tar tillvara den information som krävde så mycket arbete och resurser under en så lång tid. En 40-årig informationsbas är värdefull för hydrologisk forskning, inte minst för att kalibrera modeller. Modeller är ett bra instrument för att indikera möjliga förändringar inom ett avrinningsområde. Mätningar kan man dock inte helt utesluta, speciellt om det sker stora förändringar i systemet. De har varit och kommer att förbli en grund för vetenskapligt arbete. Med nyare mätutrustning erhålls data i form av lätt hanterliga datafiler som inte kräver så omfattande bearbetning som pegeldiagram.

## TACKORD

För ungefär 5 år sedan bestämde jag mig för att skriva ett examensarbete om gödselproduktion med hjälp av "den röda kaliforniska masken". Några månader senare började kriget i mitt hemland och skolan, examen och utbildningen kändes betydelselösa. Sedan dess har jag gått en lång väg för att kunna skriva ett annat examensarbete, i ett annat land och på ett annat språk. Härmed vill jag tacka ALLA som hjälpte mig under denna resa. Hoppas att jag inte var alltför besvärlig och att vår samarbete kommer att fortsätta i framtiden.

## LITTERATUR

- Alvarez, C. & Sanchez, J. 1980. Effects of urbanization on the hydrology of a suburban basin in Porto Alegre, Brazil. Symposium: The influence of man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins. Adlard & Son Ltd, Bartholomew Press, Dorking, Surrey, UK, s. 23-28
- Boyd, M. J., Buffil, M. C. & Knee, R. M. 1993. Pervious and Impervious Runoff in Urban Catchment. Hydrological Sciences Journal Vol. 32, No. 6, s. 463-478.
- Eriksson, B. 1980. Sveriges vattenbalans - Årsmedelvärden (1931-1960) av nederbörd, avdunstning och avrinning, SMHI rapporter. Meteorologi och klimatologi 18, Norrköping, 33 s.
- Falk, J. 1984. Urbanområdets hydrologiska funktioner. Symposium rörande femton års avrinningsområdesforskning - resultat och lärdomar 1983. NFR:s kommité för hydrologi, Report - International Hydrological Programme nr. 59, Stockholm, s. 67-85.
- Falk, J. & Niemczynowicz, J. 1976. Runoff from impermeable surfaces. Seminarium om avrinning i urbana områden 1976-04-27. Nordic Hydrological Conference, Lunds Tekniska Högskola/ Lunds Universitet, Institutionen för teknisk vattenresurslära, Lund, s. 70-84.
- Falkenmark, M. 1984. Avrinningsområdet som forskningsinstrument. Symposium rörande femton års avrinningsområdesforskning - resultat och lärdomar 1983. NFR:s kommité för hydrologi, Report - International Hydrological Programme nr. 59, Stockholm, s. 11-33.
- Gustafsson, A., Gustafsson, A. S. & Torstensson, G. 1984. Intensitet och varaktighet hos avrinning från åkermark. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avdelningen för vattenvård, Ekohydrologi 16, 76 s.
- Hallgren, G. & Olséni, H-B. 1960. Om avrinningen från små nederbördsområden. Grundförbättring, årg. 13, s. 89-111.
- Hallgren, G. & Rietz, B. 1963. Avrinningsförhållandena vid mindre nederbördsområden. Grundförbättring årg. 16, s. 163-201.
- Hallgren, G. & Tjärnström, R. 1966. Om avrinning från odlad jord. Grundförbättring årg. 19, s. 119-150.
- Hogland, Wm. & Berndtsson, R. 1983. Quantitative and Qualitative Characteristics of Urban Discharge to Small River Basins in the South West of Sweden. Nordic Hydrology vol. 14, No.3, s.155-166.
- Jansson, P-E. 1996. Simulation Model for Soil Water and Heat Conditions, Description of the SOIL model. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för biogeofysik. Stencil. 81s.
- Johanson, S. 1916. Agrogeologisk undersökning av Ultuna egendom. Sveriges geologiska undersökning, Årsbok 9 (1915) N:o 7., Kungl. Boktryckeriet Stockholm. 95 s.
- Johnsson, H. & Jansson, P-E. 1991. Water balance and soil moisture dynamics of field plots with barley and grass ley. Journal of Hydrology, Vol. Nr.129 (1991), s. 149-173.
- Lindh, G. 1976. Matematisk beskrivning av urban avrinning. Seminarium om avrinning i urbana områden 1976-04-27. Lunds Tekniska Högskola/ Lunds Universitet, Institutionen för teknisk vattenresurslära, Lund s. 2-24.
- Melanen, M. & Laukkanen, R. 1980. Analysis of rainfall- runoff relationships in Finish urban test basins. Symposium: The influence of man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins. Adlard & Son Ltd, Bartholomew Press, Dorking, Surrey, UK, 43-48p.

- Messing, I. 1993. Saturated and Near-Saturated Hydraulic Conductivity in Clay Soils, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. Department of Soil Sciences, Reports and Dissertations 12. 66 s.
- Meteorologiska observationer vid Ultuna, 1986. Månadsrapporter för juli och augusti 1986. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för växtodling, Avdelningen för meteorologi, 10 s.
- Shaw, M. E. 1988. Hydrology in Practice. Second edition, Chapman & Hall, London, 540 s.
- SMHI. 1996. Avrinningen i Sverige. SMHI, Norrköping.
- Torstensson, G. & Eriksson, S. 1941. Agronomiska kartor över Ultuna egendom jämte beskrivning. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Institution för allmän jordbrukslära, 15 s.
- Wiklert, P., Andersson, S. & Weidow, B. (Bearbetning och publicering: Karlsson, I. och Håkansson, A.) 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar, del 1. Ultunajordar. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Rapport 132, 128 s.
- Östergren, G. 1996. Baskartor över Ultuna. Vasajorden, Scandiaconsult Bygg och mark, Gävle.

Personliga meddelanden från:

- Agronom A. Bjerketorp, 1997. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för markvetenskap.
- Avd. dir. L. Hult, 1997. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Centrala förvaltningen.
- Statsagronom T. Rydberg. 1997, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för markvetenskap.
- Civ. ing. M. Stähli, 1997. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen för markvetenskap.



# BILAGA 1 PARAMETERVARDEN FOR SOIL SIMULERINGAR

```
# -----
# SOIL_002.SUM Mon Feb 10 14:53:37 1997
# -----
# Switches
# -----
ADDSIM                OFF  ALBEDOV                OFF  ATIRRIG                OFF
AVERAGED              ON   AVERAGEG            ON   AVERAGET              ON
AVERAGEX             ON   CHAPAR              OFF  CRACK                 OFF
DDAILY               ON   DRIVPG              1   EVAPOTR              3
FRINTERA             ON   FRLIMINF            1   FRLIMUF              ON
FRLOADP             ON   FRPREFL            OFF  FRSWELL              OFF
FURROW               0   GWFLOW              1   HEATEQ              ON
HEATPUMP             0   HEATWF             ON   HYSTERES              0
INHEAT              0   INSTATE            OFF  INTERCEPT          ON
INWATER              1   LISALLV            ON   NETLSURF            OFF
NUMMETHOD            OFF  OUTFORN            OFF  OUTSTATE            OFF
PLANTDEV             OFF  ROOTDIST            1   ROUGHNESS            0
RSCALC              0   SALT               OFF  SNOW                 1
SUREBAL             0   UNITG              3   UNITPOT             OFF
VALIDPG             OFF  VAPOUR              0   VISALLOUT           OFF
WATEREQ             ON   WUPTAKE             2

# -----
# Parameters
# -----

# Initial conditions -----
IGWLEV              -1   IPOT              100   ITEMPS              5

# Soil profile -----
NUMLAY              8   THICK(1)          0.04   THICK(2)          0.04
THICK(3)            0.04   THICK(4)          0.04   THICK(5)          0.04
THICK(6)            0.08   THICK(7)          0.12   THICK(8)          0.2
UNUM                6   UPROF              25   UTHICK(1)          0
VC                  5

# Soil properties -----
AOT                0.54   ALT              0.023   MINUC              1e-012
SCALE(1)            0   SCALE(2)          0   SCALE(3)            0
SCALE(4)            0   SCALE(5)          0   SCALE(6)            0
SCALE(7)            0   SCALE(8)          0   SCALECOND            0

# Numerical -----
XADIV              2   XINFLI            10   XLOOP              2
XNLEV              6

# Driving variables -----
ANGSTR(1)           0.22   ANGSTR(2)          0.5   BRUNT(1)           0.56
BRUNT(2)            0.00779   BRUNT(3)          0.1   BRUNT(4)           0.9
CNUMD              2   HEIGHT            2   NSOURCE            0
PRECA0             1.07   PRECAL            0   SIFRAC            0
SOILCOVER           0   YCH              365   YPHAS             18
YTAM               7   YTAMP            10

# Evapotranspiration -----
ALBEDO              25   CFORM(1)          0.5   CFORM(2)            2
CFORM(3)            2   CFORM(4)          1   DAYNUM(1)          121
```

|           |      |           |      |           |     |
|-----------|------|-----------|------|-----------|-----|
| DAYNUM(2) | 180  | DAYNUM(3) | 225  | DAYNUM(4) | 242 |
| DAYNUM(5) | 310  | DISPLV(1) | 0.01 | DISPLV(2) | 0.7 |
| DISPLV(3) | 0.7  | DISPLV(4) | 0    | DISPLV(5) | 0.1 |
| INTLAI    | 0.2  | INTRS     | 0.5  | LAIV(1)   | 0.1 |
| LAIV(2)   | 6    | LAIV(3)   | 4    | LAIV(4)   | 0   |
| LAIV(5)   | 0.1  | LATID     | 58.3 | PSIRS     | 300 |
| ROUGHV(1) | 0.01 | ROUGHV(2) | 0.1  | ROUGHV(3) | 0.1 |
| ROUGHV(4) | 0.01 | ROUGHV(5) | 0.01 | RSV(1)    | 30  |
| RSV(2)    | 50   | RSV(3)    | 70   | RSV(4)    | 70  |
| RSV(5)    | 50   |           |      |           |     |

#### # Water uptake -----

|            |      |            |       |            |      |
|------------|------|------------|-------|------------|------|
| ROOTDEP(1) | -0.1 | ROOTDEP(2) | -0.8  | ROOTDEP(3) | -1.2 |
| ROOTT(1)   | 113  | ROOTT(2)   | 140   | ROOTT(3)   | 225  |
| ROOTT(4)   | 242  | UPMOV      | 0.5   | WUPATE     | 0.8  |
| WUPBTE     | 0.4  | WUPCRI     | 1.000 | WUPCRISAT  | 1    |
| WUPF       | 0.3  | WUPFB      | 0     | WUPREDSAT  | 0    |

#### # Ground water and surface pool -----

|          |      |          |     |          |    |
|----------|------|----------|-----|----------|----|
| DDIST    | 20   | DDRRAIN  | -1  | GFLEV(1) | -2 |
| GFLEV(2) | -4   | GFLOW(1) | 0.2 | GFLOW(2) | 0  |
| GWSOF    | 0    | GWSOL    | 3   | SPCOVTOT | 50 |
| SPOOLMAX | 0.01 | SURDEL   | 0.5 |          |    |

#### # Surface E-balance -----

|        |     |          |      |         |    |
|--------|-----|----------|------|---------|----|
| ALBDRY | 30  | ALBKEXP  | 1    | ALBWET  | 15 |
| ARICH  | 16  | MAXNEGEG | -0.5 | RALAI   | 50 |
| RNTLAI | 0.5 | SURFDEF  | -2   | SURFEXC | 1  |

#### # Thermal properties -----

|            |   |            |   |            |   |
|------------|---|------------|---|------------|---|
| GEOTER     | 8 | HUMUS      | 0 | THSCALE(1) | 1 |
| THSCALE(2) | 1 | THSCALE(3) | 1 | THSCALE(4) | 1 |
| THSCALE(5) | 1 | THSCALE(6) | 1 | THSCALE(7) | 1 |
| THSCALE(8) | 1 |            |   |            |   |

#### # Frost -----

|        |   |     |    |      |   |
|--------|---|-----|----|------|---|
| FCOND  | 8 | FDF | 50 | FDF0 | 0 |
| FWFRAC | 1 |     |    |      |   |

#### # Snow -----

|        |      |        |           |        |     |
|--------|------|--------|-----------|--------|-----|
| CCSNOW | 0.03 | PRLIM  | 2         | PSLIM  | -2  |
| SAGEM1 | 1    | SAGEM2 | 0.1       | SAGEZP | 5   |
| SAGEZQ | 0.9  | SD1OL  | 200       | SD2OM  | 0.5 |
| SDENS  | 100  | SLWL0  | 3         | SMAFR  | 0.1 |
| SMELTG | 0    | SMRIS  | 3e-007    | SMTEM  | 4   |
| SRET   | 0.07 | STCON  | 2.86e-006 |        |     |

#### # Plotting on line -----

|      |    |      |    |
|------|----|------|----|
| PMAX | 20 | XTGD | 50 |
|------|----|------|----|

#### # -----

#### # Control variables

#### # -----

|          |                    |
|----------|--------------------|
| STARTDAT | "1952-01-01 12:00" |
| ENDDAT   | "1988-02-29 12:00" |
| OUTINTD  | 1                  |
| OUTINTM  | 0                  |
| NUMITER  | 16                 |

Driving variable file : KL52-88 7 variables in 13301 records  
 From 19520101-1200 to 19880229-1200

Temperature medel C VAVE  
 Vap. pres medel Pa SUBC  
 Wind Speed medel m/s VAVE  
 Precipitation mm Daily ammount SUBC  
 Insolation MJ/m Glob. rad. TDIV  
 Insolation MJ/m Net rad. TDIV  
 Cloudiness medel 1/10 VAVE

No soil parameters found in file : ULT1WIK.DAT

The data file contains profile: 48: 1Your profile was: 25: 6

Values of UPROF and UNUM has changed to: 48: 1

The Brooks & Corey equation will be used for soil properties

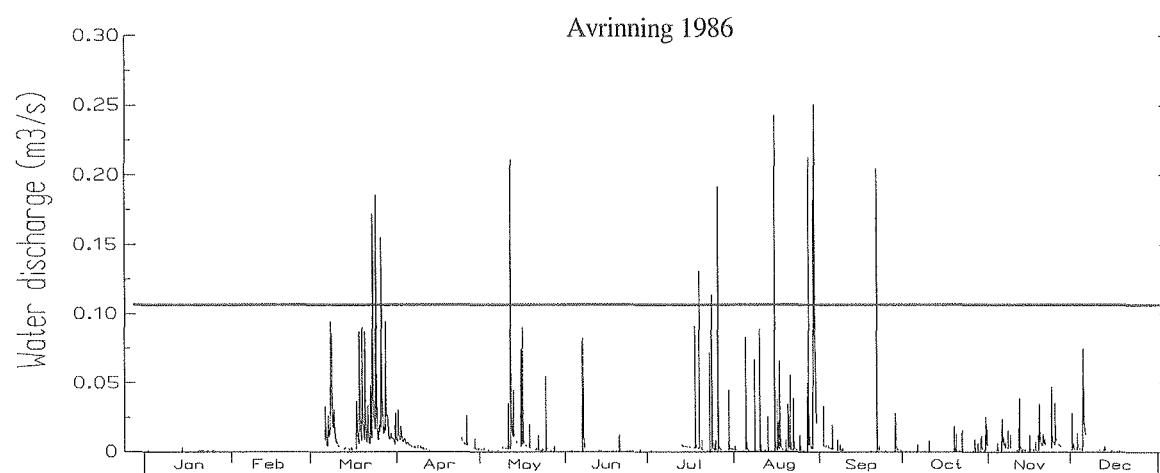
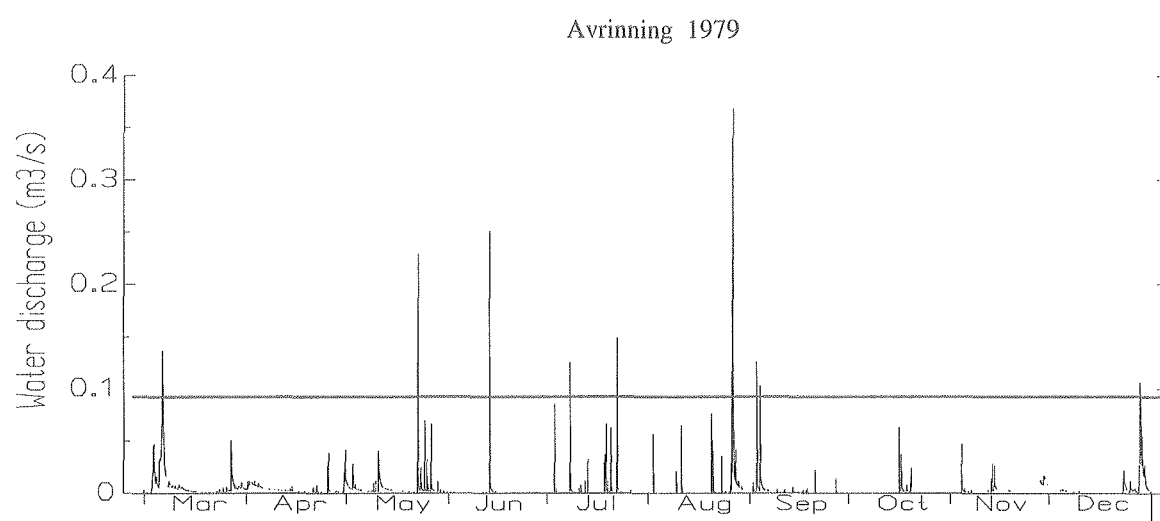
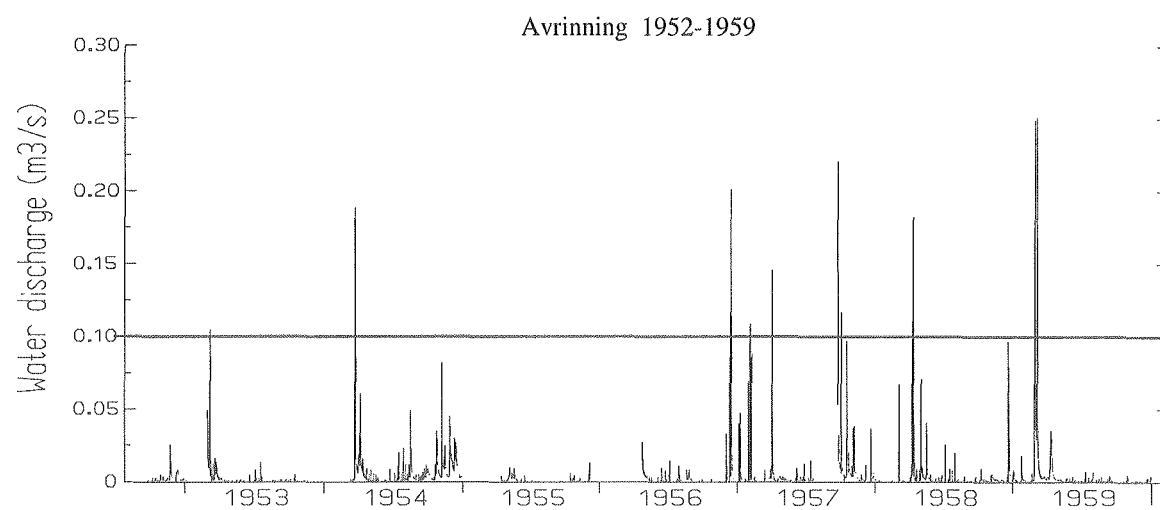
SOIL IDENTIFICATION: ULTUNA 1 C 48 6634050/1603590 36

# SOIL PARAMETERS AT BOUNDARIES BETWEEN LAYERS

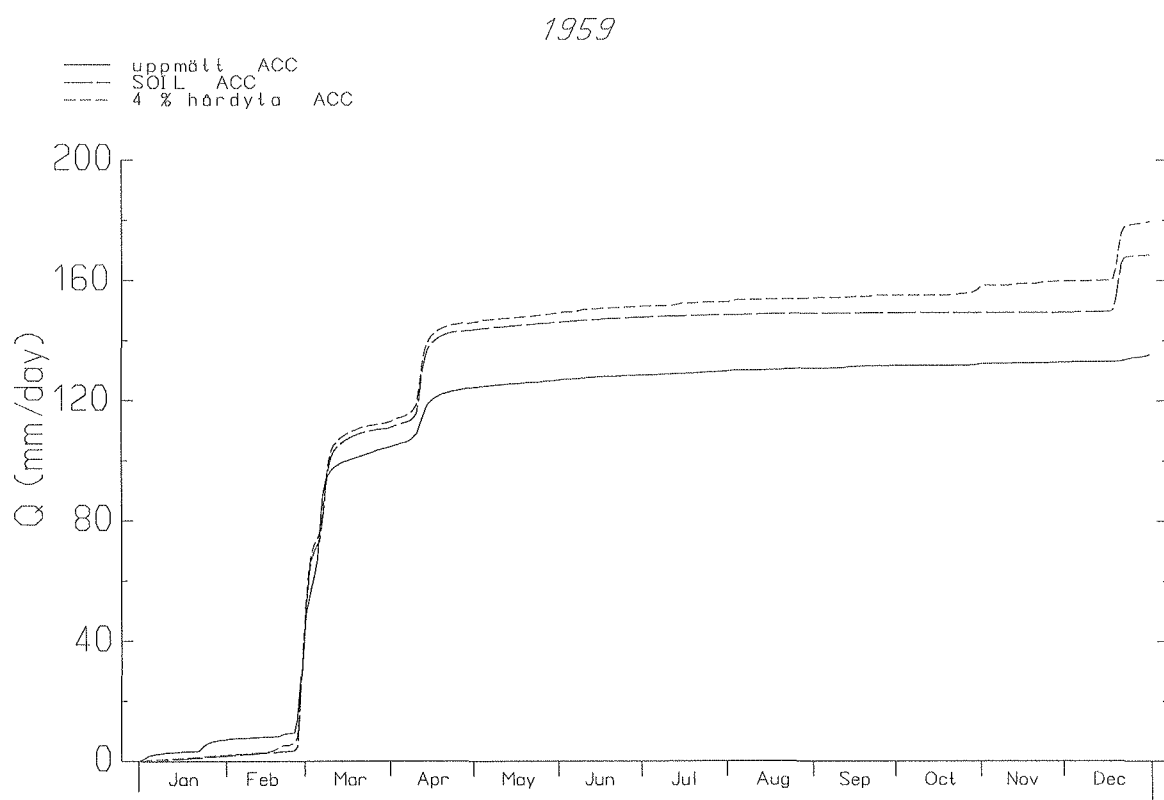
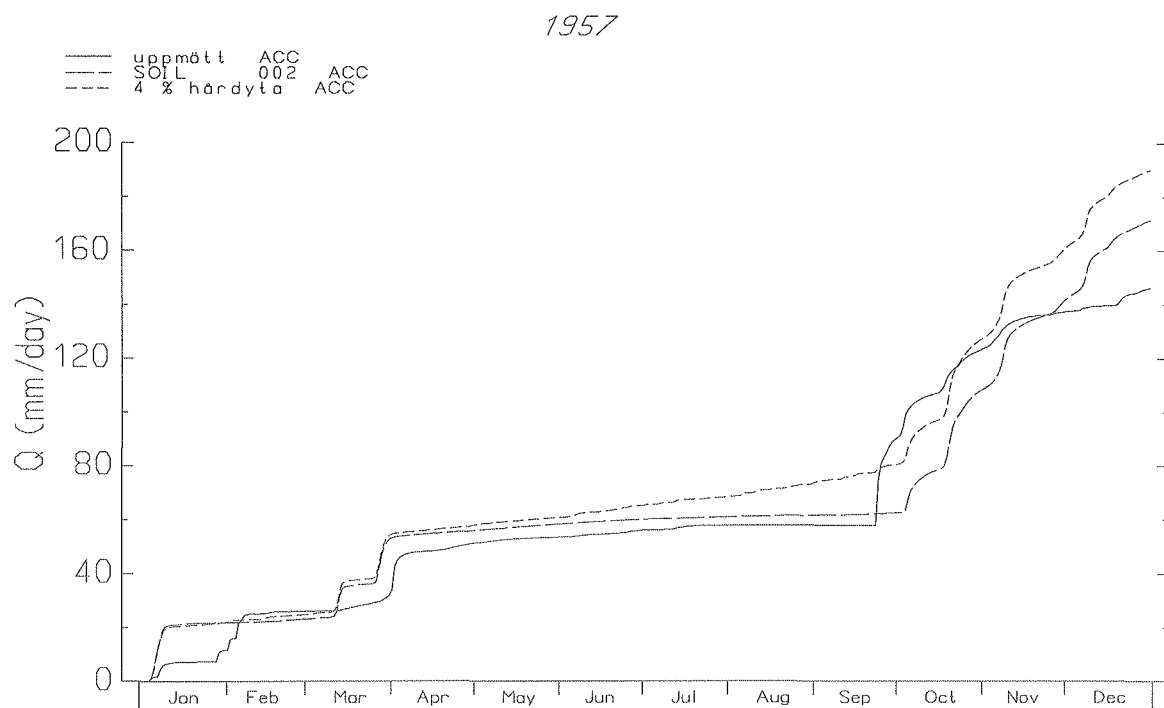
| DEPTH | N   | SATC    | SATCT   | LAMBDA | RESIDAL | PORO | PSIE | BLB | TCON | TCONF |
|-------|-----|---------|---------|--------|---------|------|------|-----|------|-------|
| 20.0  | 1.0 | 1895.7  | 1895.7  | .11    | 13.7    | 45.2 | 2.0  | 4.0 | 1.2  | 1.7   |
| 40.0  | 1.0 | 9112.9  | 9112.9  | .17    | 18.0    | 45.0 | 2.1  | 4.0 | 1.2  | 1.7   |
| 60.0  | 1.0 | 11296.8 | 11296.8 | .27    | 27.6    | 47.0 | 2.5  | 4.0 | 1.2  | 1.6   |
| 80.0  | 1.0 | 6371.1  | 6371.1  | .26    | 30.0    | 46.5 | 2.3  | 4.0 | 1.2  | 1.8   |
| 100.0 | 1.0 | 5141.0  | 5141.0  | .22    | 31.2    | 46.0 | 1.4  | 4.0 | 1.3  | 1.9   |
| 140.0 | 1.0 | 4800.0  | 4800.0  | .20    | 31.3    | 46.7 | .8   | 4.0 | 1.3  | 2.2   |
| 200.0 | 1.0 | 4800.0  | 4800.0  | .20    | 31.3    | 46.7 | .8   | 4.0 | 1.3  | 2.2   |
| 300.0 | 1.0 | 4800.0  | 4800.0  | .20    | 31.3    | 46.7 | .8   | 4.0 | 1.3  | 2.2   |

# SOIL PARAMETERS IN THE MIDDLE OF LAYERS

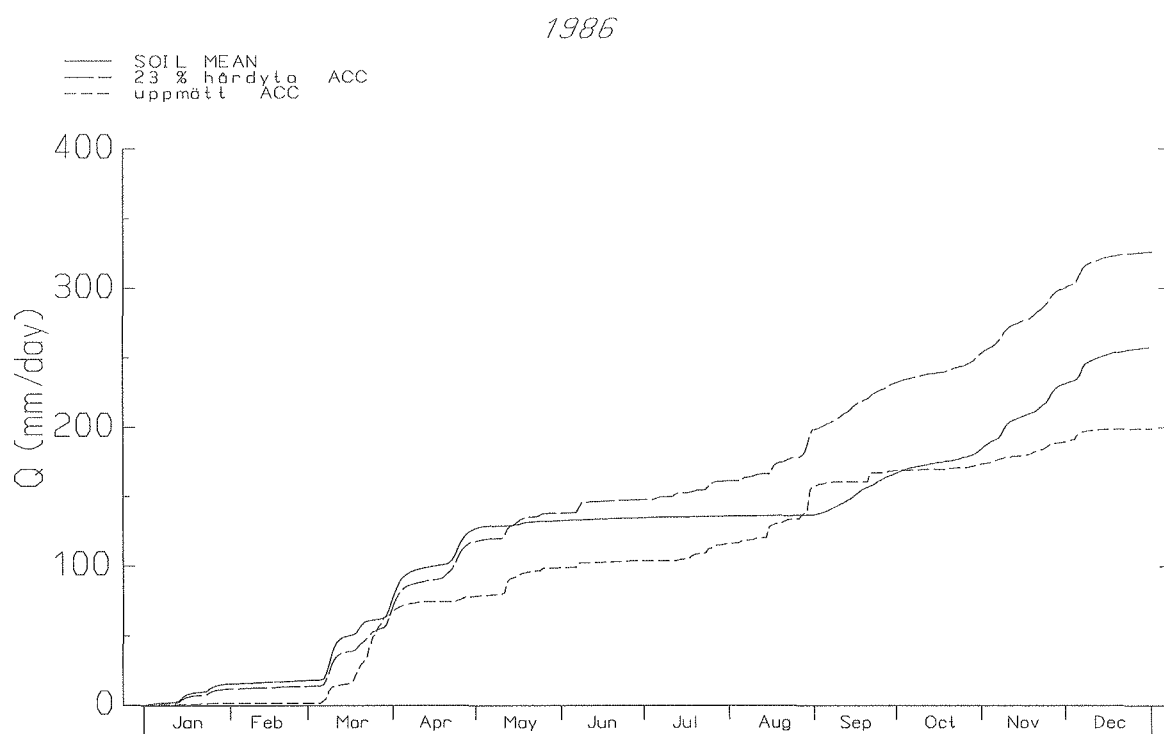
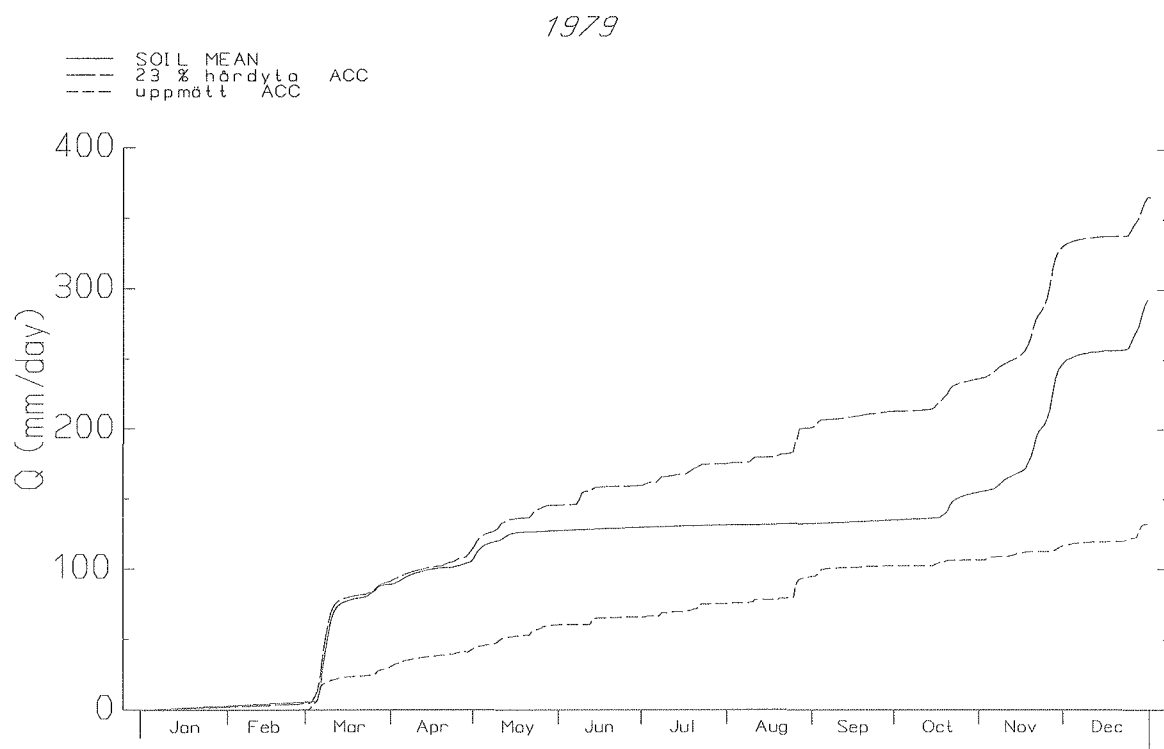
| DEPTH | ROOTF | LAMBDA | RESIDAL | PORO | PSIE | WILTP | BUB   | BLB | HCAP | HCAPI |
|-------|-------|--------|---------|------|------|-------|-------|-----|------|-------|
| 10.0  | .31   | .14    | 17.8    | 46.9 | 2.1  | 17.0  | 3500. | 4.  | 2.52 | 1.72  |
| 30.0  | .25   | .08    | 9.5     | 43.5 | 2.0  | 19.4  | 3500. | 4.  | 2.60 | 1.79  |
| 50.0  | .19   | .26    | 26.4    | 46.6 | 2.2  | 21.5  | 3500. | 4.  | 2.56 | 1.74  |
| 70.0  | .14   | .29    | 28.8    | 47.4 | 2.8  | 21.5  | 3500. | 4.  | 2.66 | 1.78  |
| 90.0  | .08   | .23    | 31.1    | 45.6 | 1.7  | 22.9  | 3500. | 4.  | 2.80 | 1.86  |
| 120.0 | .03   | .20    | 31.3    | 46.7 | .8   | 23.6  | 3500. | 4.  | 3.03 | 1.95  |
| 170.0 | .00   | .20    | 31.3    | 46.7 | .8   | 23.6  | 3500. | 4.  | 3.03 | 1.95  |
| 250.0 | .00   | .20    | 31.3    | 46.7 | .8   | 23.6  | 3500. | 4.  | 3.03 | 1.95  |



### Bilaga 3 Ackumulerad avrinning under 1957, 1959, 1979 och 1986



### Bilaga 3 Ackumulerad avrinning under 1957, 1959, 1979 och 1986



Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.  
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE. Fr o m 1993

- 93:1 Jansson, C. Rekonstruktion av naturlig vattenföring i Österdalälven och värdering av regleringsnytta. 30 s + 5 bil.
- 93:2 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E. Resultat av 1992 års fältförsök avseende detaljavvattning, markvård och markförbättring samt bevattning. 83 s.
- 93:3 Joel, A. & Wesström, I. Vattenhushållning vid bevattning - en studie av tillämpad bevattningsteknik i Sidi Bouzid-distriktet, Tunisien. 54 s.
- 93:4 Jansson, P-E. SOIL model. User's Manual. Second edition. 65 s.
- 93:5 Danfors, B. & Linnér, H. Resursbevarande odling med marktäckning och grund inbrukning av växtmaterial. 86 s.
- 93:6 Jansson, P-E. PLOTPF. User's manual. 33 s.
- 93:7 Båth, A. Studier av rotutveckling och markvattenhalt i försök med marktäckning. 71 s.
- 94:1 Tabell, L. Tjäle i torvjord. 46 s
- 94:2 Halldorf, S. Runoff water as a soil forming factor in arid zones. 62 s.
- 94:3 Jansson, P-E. SOIL model. User's Manual. Third edition. 66 s.
- 94:4 Eckersten, H., Jansson, P-E. & Johnsson, H. SOILN model. User's manual. Second edition. 58 s.
- 94:5 Persson, R. (ed.). Proceedings, NJF-seminar no 247, Agrohydrology and nutrient balances, October 18-20, 1994, Uppsala, Sweden. 111 s.
- 95:1 Alavi, G. Radial stem growth and transpiration of Norway spruce in relation to soil water availability. Granens tillväxt och transpiration i relation till markvattnets tillgänglighet (Licenciatavhandling). 13 + 11 + 14 s.
- 95:2 Johansson, W. & Fellin, O. Biogas från vall. Teknik och ekonomi vid odling, skörd, transporter, ensilering samt rötning med tvåstegsteknik. 38 s.
- 95:3 Svensson, E., Linnér, H. & Carlsson, H. Utvärdering av växtanalys i fabrikspotatis. 53 s.
- 95:4 Andersson, A. Vattentillgångar för bevattning i Kalmar län. I. Litteraturoversikt. II. Intervjuundersökning rörande vattenmagasin. 48 s.
- 95:5 Wesström, I. Bestämning av markens salthalt genom mätning med konduktivitetssond. 18 s.
- 95:6 Eckersten, H., Jansson, P-E., Karlsson, S., Persson, B., Perttu, K. & Andersson, J. En introduktion till biogeofysik. 72 s.
- 95:7 Eckersten, H. Simulation of water flow in plant communities. SPAC model description, exercises and user's manual. 49 s.
- 95:8 Nabieian, F. Simulering av vattenbalans för energiskog på en torvmark. 25 s.
- 96:1 Eckersten, H., Jansson, P-E., & Johnsson, H. SOILN model, user's manual. Version 9.1. 93 s.
- 96:2 Eckersten, H., Jansson, P-E., Karlsson, S., Lindroth, A., Persson, B., Perttu, K. & Andersson, J. En introduktion till biogeofysik, 2:a upplagan. 110 s.
- 96:3 Carlsson, H., Larsson, K. & Linnér, H. Växtnäringsstyrning i potatis. 69 s.
- 97:1 Uppenberg, S., Wallgren, O. & Åhman, M. Saturated hydraulic conductivity in an acid sulphate soil. A minor field study in the the Vietnamese Mekong delta. 45 s.
- 97:2 Djodjic, F. Avrinningsmönster i ett litet åkerområde under 40 år av successiv urbanisering. 38 s.